

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1962

THÈSE

N°

99

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLOME D'ÉTAT

PAR

Guy CHAMPOLLION

né le 13 Janvier 1921 à VALJOUFFREY (Isère)

Présentée et soutenue publiquement le :

Contribution à l'étude de la

POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

dans ses rapports avec les facteurs météorologiques - l'hygiène - l'urbanisme

Président : J. BOYER, Professeur

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1962

THÈSE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLOME D'ÉTAT

PAR

Guy CHAMPOLLION

né le 13 Janvier 1921 à VALJOUFFREY (Isère)

Présentée et soutenue publiquement le :

Contribution à l'étude de la

POLLUTION ATMOSPHERIQUE

dans ses rapports avec les facteurs météorologiques - l'hygiène - l'urbanisme

Président : J. BOYER, Professeur

UNIVERSITY OF MEDICINE OF PARIS

THÈSE

DE

DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLOME D'ÉTAT

PAR

M. J. J. J. J.

DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS



FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

PROFESSEURS

LIBRAIRIE
MÉDICALE
DE PARIS

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. Aubin (A.), Bénard (H.), Bulliard (H.), Cadenat (F.), Chabrol (E.), Champy (C.), Debré (R.), Gastinel (P.), Guillaïn (G.), Halphen (E.), Hazard (R.), Heuyer (G.), Lantuejoul (P.), Laroche (G.), Lévy-Solal (E.), Lian (C.), Loeper (M.), Marion (G.), Mathieu (P.), Mocquot (P.), Mondor (H.), Monod (R.), Moreau (R.), Olivier (E.), Pasteur Vallery-Radot, Petit-Dutaillis, Richet (C.), Strohl (A.), Tanon (L.).

DOYEN Léon BINET.
Membre de l'Institut

ASSESEUR. Jean VERNE.

I. — PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	DELMAS (A.)
Anatomie pathologique	DELARUE (J.)
Anesthésiologie	BAUMANN (J.)
Biochimie médicale	JAYLE (M. F.)
» » (Prof: à titre personnel)	ETTORI (J.)
» » (Prof: à titre personnel)	SCHAPIRA (G.)
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports	CHAILLEY-BERT (P.)
Biologie médicale	FAUVERT (R.)
» » (Prof: à titre personnel)	BOURLIERE (F.)
Cancérologie médicale et sociale	BERNARD (J.)
Clinique carcinologique chirurgicale (Necker)	REDON (H.)
Clinique cardiologique (Broussais)	MOUQUIN (M.)
	SICARD (A.)
	N.
Cliniques chirurgicales	PATEL (J.)
	CORDIER (G.)
	GOSSET (J.)
	MOULONGUET (P.)
	LORTAT-JACOB (J.-L.)
	FÈVRE (M.)
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants-Malades)	MERLE D'AUBIGNÉ (R.)
Clinique chirurgicale orthopédique et réparatrice (Cochin)	GAUDART-D'ALLAINES (F. de)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)	MATHEY (J.)
Clinique de chirurgie pleuro-pulmonaire (Laënnec)	DECOURT (J.)
Clinique endocrinologique (Pitié)	LAMY (M.)
Clinique de génétique médicale (Enfants-Malades)	FUNCK-BRENTANO (P.)
Clinique gynécologique (Broca)	DEGOS (R.)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (St-Louis)	CATHALA (J.)
Clinique des maladies des enfants (Enfants-Malades)	MOLLARET (P.)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard)	DELAY (J.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (St-Anne)	HAMBURGER (J.)
Clinique des maladies métaboliques (Necker)	MARCHAL (G.)
Clinique des maladies du sang (Broussais)	N.
Clinique des maladies du système nerveux (Salpêtrière)	LENÈGRE (J.)
	SOULIÉ (P.)
	JUSTIN-BESANÇON (L.)
Cliniques médicales	BROUET (G.)
	BARIÉTY (M.)
	DREYFUS (G.)
	KOURILSKY (R.)
Clinique médicale d'hydrologie thérapeutique et climatologie (Bichat)	DEBRAY (G.)
Clinique médicale propédeutique (Broussais)	GENNES (L. de)
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies de la nutrition (Hôtel-Dieu)	DEROT (M.)
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)	DAVID (M.)
Clinique neurologique (Salpêtrière)	GARCIN (R.)
Cliniques obstétricales	LACOMME (M.)
	MERGER (R.)
Clinique obstétricale et gynécologique (Port-Royal)	VARANGOT (J.)
Clinique ophtalmologique (Hôtel-Dieu)	RENARD (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)	AUBRY (M.)
Clinique de pédiatrie et de puériculture (St-Vincent-de-Paul)	LELONG (M.)
Clinique de pédiatrie Sociale (Enfants-Malades)	MARIE (J.)
Clinique de pneumo-phthisiologie (Laënnec)	BERNARD (E.)
Clinique psychiatrique infantile (Salpêtrière)	MICHAUX (L.)
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin)	COSTE (F.)
Clinique stomatologique (Pitié)	DECHAUME (M.)
Clinique thérapeutique chirurgicale (Vaugirard)	N.
Clinique thérapeutique médicale (St-Antoine)	LEMAIRE (A.)
Clinique urologique (Cochin)	N.
Embryologie	GIROUD (A.)
» » (Prof: à titre personnel)	TUCHMANN-DUPLESSIS (H.)
Histoire de la médecine et de la chirurgie (Lariboisière)	SÈZE (S. de)
Histologie	VERNE (J.)

Hygiène et clinique de la première enfance (Trousseau)	MM.	TURPIN (R.)
Hygiène et médecine préventive	JOANNON (P.)	
» » (Prof ^r à titre personnel)	DEPARIS (M.)	
Médecine du Travail	DESOILLE (H.)	
Médecine légale	PIÉDELIEVRE (R.)	
Microbiologie (Bactériologie et virologie)	FASQUELLE (R.)	
Parasitologie	GALLIARD (H.)	
» (Prof ^r à titre personnel)	BRUMPT (L. G.)	
Pathologie chirurgicale	COUVELAIRE (R.)	
» » (Prof ^r à titre personnel)	LAURENCE (G.)	
Pathologie exotique	LAVIER (G.)	
Pathologie expérimentale et comparée	MERKLEN (F.-P.)	
Pathologie médicale	MILLIEZ (P.)	
Pathologie respiratoire	TURIAF (F.)	
Pathologie et thérapeutique générales	BOUDIN (G.)	
Pharmacologie	CHEYMOL (J.)	
» (Prof ^r à titre personnel)	LÉVY (Mlle J.)	
Physiologie	BINET (L.)	
» » (Prof ^r à titre personnel)	BARGETON (D.)	
» »	PARROT (J.)	
Physiologie et pathologie obstétricale	LEPAGE (F.)	
Physique médicale	DOGNON (A.)	
» » (Prof ^r à titre personnel)	DJOURNO (A.)	
Radiologie médicale	DESGREZ (H.)	
Technique chirurgicale et Chirurgie expérimentale	LÉGER (L.)	
Thérapeutique	CONTE (M.)	

II. — PROFESSEURS SANS CHAIRE, PROFESSEURS AGRÉGÉS ET MAÎTRES DE CONFÉRENCES - AGRÉGÉS

	MM.		MM.
Anatomie	{ CABROL (C.) COUINAUD (C.) OLIVIER (G.)	Ophtalmologie	{ BRÉGEAT (P.) SARAUX (H.)
Anatomie pathologique	{ GAUTHIER-VILLARS (Mlle P.) pr. s. ch. BUSSE (F.) GOUYGOU (Ch.) ORCEL (L.) PAILLAS (J.)	Orthopédie	{ JUDET (R.) RAMADIER (J.)
Anesthésiologie	VOURC'H (G.)	Oto-rhino-Laryngologie	DEBAIN (J.)
Bactériologie	{ BARBIER (P.) CHRISTOL (D.) TOURNIER (P.)	Parasitologie	CHABAUD (A.)
Biochimie médicale	{ DESGREZ (P.), pr. s. ch. POLONSKI (J.), m. conf.		{ BARCAT (J.) BINET (J.-P.) GAUCHOIX (J.) CHATELIN (G.-L.) DUBOST (Ch.) DUBOST (Cl.) FAUREL (J.) FLABEAU (F.) GERMAIN (A.) LOYGUE (J.) MERCADIER PERROTIN (J.) ROBERT (H.) THOMERET (G.)
Biologie appliquée à l'Éducation Physique et aux Sports	PLAS (F.)	Pathologie chirurgicale	
Carcinologie	{ DENOIX (P.) MATHE (G.)	Pathologie exotique	SCHNEIDER (J.)
Dermato-Syphiligraphie	DUPERRAT (B.)	Pathologie expérimentale	{ CROSNIER (J.) HARTMANN (L.) LÉPER (J.) MAURICE (J.) RICHEL (G.)
Electro-Radiologie	LEDOUX-LEBARD (G.)		{ AUSSANNAIRE (M.) BOUR (H.) BOUVIER (J.) BOUVRAIN (Y.) BRICAIRE (H.) BRISAUD (H.) BROCARD (H.) BUGE (A.) CASTAIGNE (P.), m. conf. CATINAT (J.) CONTAMIN (F.) COURY (G.) FREZAL (J.) HOUSSET (E.) LAROCHÉ (O.) LESOBRE (R.) MACREZ (O.) NICK (J.) PEQUIGNOT (H.), pr. s. ch. ROYER (P.) WOLFROMM (R.)
Hématologie	{ BILSKI-PASQUIER (G.) DAUSSET (J.)	Pathologie médicale	
Histologie	{ COUJARD (R.) pr. s. ch. MAROIS (M.) RACADOT (J.)		
Hydrologie	CORNET (A.)		
Hygiène	{ BOYER (J.), pr. s. ch. CORRE-HURST (Mlle L.)		
Maladies infectieuses	{ BASTIN (R.) DUPONT (V.)		
Médecine légale	{ DEROBERT (L.), pr. s. ch. HADENGUE (A.) FOURNIER (E.) GUENIOT (M.)		
Médecine du travail	ALBAHARY (C.)		
Neurologie	LHERMITTE (F.)		
Obstétrique	{ GRANJON (A.) HERVET (E.) LE LORIER (G.) MORIN (P.) MUSSET (R.) ROBEY (M.) THOYER-ROZAT (J.)		

	MM.		MM.
Pédiatrie-Puériculture . . .	{ JOSEPH (R.) MANDE (R.) MOZZICONACCI (P.) POLONOVSKI (C.) ROSSIER (A.)	Pneumo phthisiologie . . .	KREIS (B.)
		Psychiatrie	PICHOT (P.)
		Psychiatrie infantile . . .	DUCHÉ (D.)
		Rhumatologie	DELBARRE (F.)
Pharmacologie	{ BOISSIER (J.) LECHAT (P.)	Stomatologie	{ CERNÉA (P.) CHAPUT (M ^{me} A.), m. c. agr. GRELLET (M.)
Physiologie	DEJOURS (P.)	Thérapeutique	{ CHASSAGNE (P.) LAMOTTE (M.)
Physique médicale	{ GOUGEROT (L.), m. conf. pr. s. ch. KELLERSHOHN	Urologie	QUENU (L.)

III. — PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE à titre permanent.

	MM.		MM.
Anatomie	DEBEYRE	Clinique obstétricale . . .	{ GRASSET (J.) MAYER (M.) RAVINA (J.)
Clinique chirurgicale . . .	{ ABOULKER (P.) ABELINE (A), pr. s. ch. HUGUIER (J.) OLIVIER (C.) PADOVANI (P.) POILLEUX (F.) ROUX (M.) VERNE (J.-M.)	Clinique ophtalmologique .	{ DESVIGNES (P.) OFFRET (G.)
		Clinique oto-rhino-laryngo- logique	MADURO (R.)
		Clinique pédiatrique et pué- riculture	LAPLANE (R.)
		Clinique psychiatrique . .	BARUK (H.)
		Clinique urologique . . .	KUSS (R.)
		Médecine légale	GAULTIER
Clinique médicale	{ DOMART (A.) PERRAULT (M.) RAMBERT (P.) THIEFFRY (S.)		

IV. — PROFESSEURS DÉTACHÉS DANS LES UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES

Bactériologie	HAUDUROY (P.) Pr. s. ch.
Pathologie chirurgicale	RUDLER (J.) Pr. s. ch.

V. — CHARGÉS DE COURS D'HYGIÈNE SCOLAIRE ET UNIVERSITAIRE

Secrétaire général de la Faculté . .	M. LENA (J.)
Secrétaires	M ^{me} BEURLAND (H.), M ^{lle} CHAINTREUIL (G.), M ^{me} ROCHE (L.)
Conservateur en Chef	M. le Docteur HAHN (A.)
Conservateur	Mlle DUMAITRE (P.)
Bibliothécaires	{ Mmes CONTET (J.), FORGET (F.), Miles LAURENT (H.), LE NOIR (G.), QUIÉVREUX (E.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A la mémoire de MON PERE

A MA MERE

A MA FEMME

A MES ENFANTS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552023_0018

A Monsieur le Professeur J. BOYER,

Inspecteur Général des Services d'Hygiène
de la Préfecture de Police - PARIS,
Officier de la Légion d'Honneur,

Qui nous a fait l'honneur d'accepter
la présidence de cette thèse.

A Monsieur A. VIAUT,

Inspecteur Général et
Directeur de la Météorologie Nationale,
Président de l'Organisation Météorologique Mondiale,
Commandeur de la Légion d'Honneur,

à qui la Météorologie moderne doit
son essor et l'extension du champ
de ses applications pratiques.

INTRODUCTION

La pollution atmosphérique a été bien étudiée dans ses effets sur la santé, depuis les simples désagréments qu'elle présente par les odeurs, les retombées de poussières et de suies, jusqu'aux troubles majeurs qu'elle détermine ou au moins favorise: affections allergiques, prédisposition aux infections, recrudescence épidémiques, processus tumoraux etc.

On sait depuis longtemps que le degré de pollution dépend non seulement de la quantité des produits rejetés, mais aussi de l'efficacité des agents atmosphériques de dispersion. Des études théoriques ont montré, pour certains cas particuliers, ce que pouvaient être les mécanismes de diffusion, et la nature des phénomènes atmosphériques à considérer.

Au mois de Mars 1961 nous avons été chargé par Monsieur A. VIAUT Directeur de la Météorologie Nationale - Service auquel nous appartenons, au titre d'Ingénieur des Travaux - de reprendre l'étude de ces questions sur le cas concret de la pollution atmosphérique à PARIS. Nous avons déjà exposé succinctement nos premiers résultats, en particulier au cours d'une réunion organisée le 11 Avril 1961 par la Société de Pathologie Comparée. Le temps très court dont nous disposions alors ne nous a pas permis d'aller au-delà d'une simple compilation des données disponibles que nous avons présentée sous forme de courbes et graphiques.

Nous avons ensuite repris cette étude, sous la direction de Monsieur le Professeur Jean BOYER, dont les conseils bienveillants nous ont permis de mieux préciser les rapports entre la pollution atmosphérique et les divers domaines de la Médecine, en particulier celui de l'Hygiène Urbaine.

Au point de vue matériel nous avons eu l'incalculable privilège d'utiliser le Calculateur électronique "B. PASCAL" de la Météorologie Nationale, pour les calculs statistiques indispensables, portant sur plus de 13.000 mesures ou relevés d'observations.

En rapprochant nos résultats des conclusions déjà connues par les travaux de spécialistes tels que Hygiénistes, toxicologues, cliniciens, ... nous considérons que la solution la plus rationnelle et la moins coûteuse au problème de la pollution est l'élaboration puis l'application d'un plan d'urbanisme directeur qui tienne compte d'abord des exigences de l'économie et de la santé, ce qui n'est pas, et de loin, le cas des projets actuels pour PARIS et sa région.

I - CONSIDERATIONS THEORIQUES SUR LE PROBLEME DE LA POLLUTION AERIENNE DES VILLES.

1-1- Généralités -

1-1-1. Historique. La pollution atmosphérique peut provenir de sources naturelles: - dégagement gazeux des marais, des poches souterraines, - activité volcanique - décomposition des matières organiques animales ou végétales - pullulation, dans certaines circonstances, d'organismes ou de micro-organismes - rayonnements divers etc. L'homme, dès ses premiers jours, a fui les régions malsaines, mais l'on affirme que, réfugiés dans des cavernes, nos ancêtres y souffraient de la fumée des feux allumés à l'entrée pour éloigner les fauves: la cité lacustre fut la première solution originale au problème de la pollution.

Les archives juridiques regorgent de lois, édits et règlements tendant à limiter voire à interdire le rejet des polluants artificiels. Les améliorations obtenues dans certains secteurs sont aussitôt compensées par la prolifération, ailleurs, d'autres sources de pollution, et, surtout, par l'extension concentrique des villes qui réduit, pour une grande partie des surfaces habitées, l'efficacité des agents naturels de dispersion: vent et turbulence atmosphérique.

La solution moderne reste donc à venir.

1-1-2. Exposé général des problèmes et plan de l'étude.

Dans le cas d'une source ponctuelle unique, par exemple avec une cheminée d'usine, le vent est le meilleur facteur d'épuration de l'air environnant. Dans le cas où l'usine est au centre ou à proximité d'une agglomération il est avantageux qu'intervienne en même temps la turbulence atmosphérique, qui, assurant une diffusion en altitude, s'oppose à l'effet de panache et réduit, par ailleurs, le taux de pollution du secteur critique où se produit le phénomène de concentration maximale.

Quand les quartiers résidentiels ajoutent à la pollution urbaine leur contribution, devenue prépondérante depuis quelques dizaines d'années, le problème de la diffusion prend un aspect nouveau. En particulier seules l'instabilité thermique et la turbulence dynamique peuvent arracher aux rues et aux cours des vastes entassements humains les déchets de toute sorte rejetés dans l'atmosphère, et dont une part importante est produite au ras du sol.

Au point de vue météorologique nous proposons d'expliciter le coefficient de diffusion turbulente, à partir des points de vue développés par PRANDLT et par ROULLEAU, ce qui introduit tout naturellement les gradients de vent et de température comme paramètres de turbulence, et évite le recours à des indices arbitraires introduits après coup.

Pour relier les variables météorologiques aux concentrations observées dans une ville qui est à la fois source et milieu de diffusion - nous proposons

une solution empirico-théorique basée sur les résultats des mesures de la pollution dans le département de la Seine, avec, comme hypothèse de travail, l'adoption d'un modèle simple et d'une équation élémentaire des échanges qui relie l'accroissement du taux de pollution à la vitesse de production, compte tenu de la quantité enlevée par les agents atmosphériques.

Au point de vue de l'Hygiène les questions sont plus complexes car nous ignorons encore, dans beaucoup de cas, les processus d'action des produits toxiques présents dans l'air des villes. Nous avons des raisons de penser que la pollution actuelle, surtout chimique, se révélera beaucoup plus nocive que la pollution des cinquantes dernières années, surtout faite de fumées et de poussière. Malheureusement le rapprochement des graphiques de mortalité et de pollution ne révélera jamais une coïncidence des courbes pour des affections telles que le cancer des voies respiratoires, dont le nombre croît cependant de façon hautement significative chez les citadins, et spécialement chez les professionnels de la rue: agents des transports et de la circulation. Il n'y a donc aucune corrélation statistique à attendre entre la pollution immédiate et les affections qu'elles favorise ou entretient lorsque les décès qui en résultent interviennent après un temps de latence variable. Nous essayerons pourtant d'en retrouver la trace sur les taux de mortalité différentiels et comparés. Finalement les corrélations journalières ne reposeront plus que sur la contribution des décès de personnes déjà gravement atteintes, incapables de résister à une agression nouvelle, où il nous est d'ailleurs difficile de discerner rigoureusement l'élément principal: forte pollution ou, simplement, conditions météorologiques qui favorisent cette forte pollution. Nous verrons, cependant, que de telles corrélations sont réelles.

Dans une seconde partie nous donnerons quelques exemples tirés des mesures journalières de pollution dans le département de la Seine, pour illustrer les principaux faits établis, par exemple l'insuffisance du vent, lorsqu'il intervient seul comme facteur de dispersion. Nous ferons ensuite un choix des très nombreuses corrélations statistiques que nous avons calculées pour l'année 1960 et pour Paris, entre les valeurs journalières des variables, qui font l'objet de cette étude: taux de pollution-éléments météorologiques - décès.

Enfin notre conclusion sera dictée par l'angoisse de tous les hommes victimes ou témoins d'un urbanisme impuissant à résoudre le problème de la pollution qui, pour chaque ville pourrait cependant recevoir une solution particulière et satisfaisante.

1-2- Définitions - En pratique on reconnaît, dans une ville moderne, trois sources distinctes de pollution:

- les foyers domestiques;
- les foyers industriels;
- les véhicules à moteur (autre qu'électrique).

Bien que, par la suite, nous limiterons cette étude à deux polluants issus de ces foyers nous rappellerons d'abord quelques données sur la pollution en général.

1-2-1. La Pollution atmosphérique. Il n'existe pas de définition unanimement admise, même sur le plan national. Voici celle que nous proposons:

"On appelle pollution atmosphérique la présence:

- soit d'éléments qui ne font pas partie des constituants normaux de l'atmosphère, quelle qu'en soit la quantité;
- soit d'un taux excessif ou nuisible de l'un ou plusieurs de ces constituants".

L'expérience a montré, en effet, que les substances surajoutées sont presque toujours source de nuisances ou d'inconforts.

1-2-1.1. L'air normal.

Air sec. Il est défini par les météorologistes (Réf.1). En voici la composition, exprimée en titres molaires, qu'on peut considérer comme constante jusqu'à une altitude de 25 km.

GAZ	Symbole	Titre molaire %	Poids moléculaire
Azote	N ₂	78,09	28,016
Oxygène	O ₂	20,95	32,000
Argon	A	0,93	39,944
Anhydride Carbonique	CO ₂	0,03	44,010
Néon	N _e	1,8 10 ⁻³	20,183
Hélium	H _e	5,24 10 ⁻⁴	4,003
Krypton	K _r	1,0 10 ⁻⁴	83,7
Hydrogène	H ₂	5,0 10 ⁻⁵	2,0160
Xenon	X _e	8,0 10 ⁻⁶	131,3
Ozone	O ₃	1,0 10 ⁻⁶	48,000
Radon	R _n	6,0 10 ⁻¹⁸	222

Air humide - La pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air est variable, mais ne peut dépasser une valeur maximale, dite "saturante", dépendant de la température.

Cette pression ou tension maximale n'est pas négligeable, en voici quelques valeurs:

Températures en degrés C	Pression partielle saturante de la vapeur d'eau en millibars
0°C	6,107
20°C	23,373
40°C	73,777
60°C	199,26

Il faut noter que la vapeur d'eau n'est pas le seul constituant variable de façon normale, et partage cette particularité avec deux autres gaz: l'ozone et l'anhydride carbonique, qui font partie, également, d'un cycle d'évolution.

1-2-2.2. Autres éléments retrouvés de manière habituelle dans l'atmosphère;

- des traces de gaz provenant des sources naturelles déjà signalées: hydrocarbures, SO_2 , SH_2 etc...;
- des parfums: aldehydes, essences aromatiques;
- des micro-organismes: bactéries, virus, levures, spores etc.;
- des grains de pollen, des graines;
- des poussières minérales provenant des régions désertiques, des volcans, de l'érosion;
- de plus l'atmosphère est traversée par le rayonnement solaire et le rayonnement cosmique, générateur d'ozone (pour le premier) de radicaux libres et d'ions pour les deux;
- enfin on y rencontre une radioactivité naturelle, essentiellement tellurique, (y compris celle du Radon) le champ magnétique, et un champ électrique dont la variabilité est considérable.

1-3- Les Polluants atmosphériques -

La liste précédente, qui n'est pas exhaustive, laisse deviner la difficulté de situer la frontière exacte entre atmosphères polluée et non polluée, le critère de nuisance étant impossible à préciser.

Nous donnons ci-après une liste provisoire des principaux polluants actuels provenant de foyers créés par l'homme.

1-3-1. Polluants gazeux.

- CO_2 , au-dessus de 300 ppm
- CO, quelle que soit sa teneur
- SO_2 , SO_3 , Fluor, Chlore...
- Hydrocarbures gazeux, composés divers tels que les carbures insaturés, mercaptans, aldehydes, CNH, NO_2 , H_2S , etc...

(Nota: ppm = parts pour million en volume. Exemple: cm^3 par m^3 . On a de même: ppm ou parts pour milliard, par exemple: millimètre cube par mètre cube).

1-3-2. Polluants solides.

Leur classement est malaisé. Par leur diamètre principal les granules solides se classent arbitrairement en:

a) Escarbilles: diamètre supérieur à 50 microns. Les escarbilles sont donc visibles; elles sont pratiquement constituées par des fragments de charbon incomplètement brûlés. On y ajoutera les agrégats de toute nature.

b) Poussières: constituées par des particules comprises entre 50 et 10 microns.

c) Fumées. Elles rassemblent tous les granules de diamètre inférieur à 10 microns.

D'après leur nature ou leur origine on distinguera:

- les cendres, les suies, les escarbilles provenant des foyers de combustion;

- les particules minérales: chaux, plâtre, ciment, silice etc.;

- les poussières métalliques: oxydes de zinc, plomb tétraéthyle (de l'essence dite "super"), cryolithe etc...

1-3-3. Polluants liquides: gouttelettes huileuses ou non, acides ou basiques, associées parfois à des granules solides.

1-3-4. Autres éléments nuisibles produits par l'homme et retrouvés dans l'atmosphère.

- Les produits radioactifs: résidus des bombes atomiques, produits libérés accidentellement ou non par les centrales nucléaires. Il est intéressant de noter que ces déchets sont en principe émis dans des zones désertiques ou éloignées - où leur accumulation serait, à la rigueur, tolérable - mais deviennent dangereux en raison même de leur diffusion par les agents atmosphériques.

- Les vibrations électromagnétiques dangereuses: Rayons X, γ .

- Les vibrations accoustiques: bruits divers, ultra-sons.

1-4- Les sources urbaines de pollution atmosphérique à Paris -

Leur part respective est difficile à déterminer et varie d'une année à l'autre et suivant le polluant considéré.

Les valeurs suivantes (Réf.2) ne sont données qu'à titre indicatif.

1-4-1. Anhydride carbonique - Année 1958.

- Respiration humaine	7,3 %
- Circulation automobile	8,7 %
- Grande industrie	39,7 %
- Chauffage domestique et petite industrie	44,3 %

pour une production totale de 30 millions de tonnes. Nous assistons, actuellement à une baisse relative de la part qui revient au chauffage, au "bénéfice" du poste "circulation automobile".

1-4-2. Anhydride sulfureux.

Pour une libération totale annuelle de 200.000 tonnes environ, la part du chauffage est de 48 % (elle dépasse, l'hiver, 70 %).

1-4-3. Fumées.

Elles proviennent en majeure partie de l'industrie et de la circulation (73%) tandis que le chauffage domestique n'intervient que pour 27%.

Il n'existe aucun bilan de la quantité totale des produits solides évacués dans l'air. Nous l'avons estimé, à l'aide de recoupements divers, à plus de 100.000 tonnes par an pour le complexe parisien.

Par ailleurs on estime à près de 15.000 tonnes les retombées solides sur le département de la Seine; il s'agit essentiellement des plus grosses particules: escarbilles, grosses poussières. Le reste - 85% - est donc, comme les polluants gazeux, évacué et dispersé par les agents atmosphériques. C'est là une première estimation du rôle des facteurs météorologiques.

1-5- Aperçu théorique sur la diffusion et la dispersion des polluants dans l'atmosphère -

1-5-1. Généralités. Les polluants sont rejetés dans l'atmosphère avec l'espoir qu'ils s'y disperseront sous l'effet des agents naturels. En général cette espérance se réalise, mais la vitesse avec laquelle intervient cette dispersion varie énormément suivant l'état de l'atmosphère. Elle peut s'abaisser jusqu'à devenir négligeable ou, au contraire, atteindre des valeurs telles que le stade de dispersion est réalisé quel que soit le débit des sources polluantes. Nous désignons par "stade de dispersion" celui pour lequel la concentration du polluant considéré est au-dessous de la valeur officielle dénommée "concentration maximale admissible" ou C.M.A., ou, à défaut, lorsque ses effets nuisibles peuvent être considérés comme négligeables.

L'étude de la pollution dans une ville pose des problèmes très complexes, à moins d'introduire un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, tenant compte des ordres de grandeur et permettant de choisir un modèle idéal. C'est ce que ferons ici, en nous appuyant sur les données réelles chaque fois que nous aurons besoin d'une hypothèse supplémentaire.

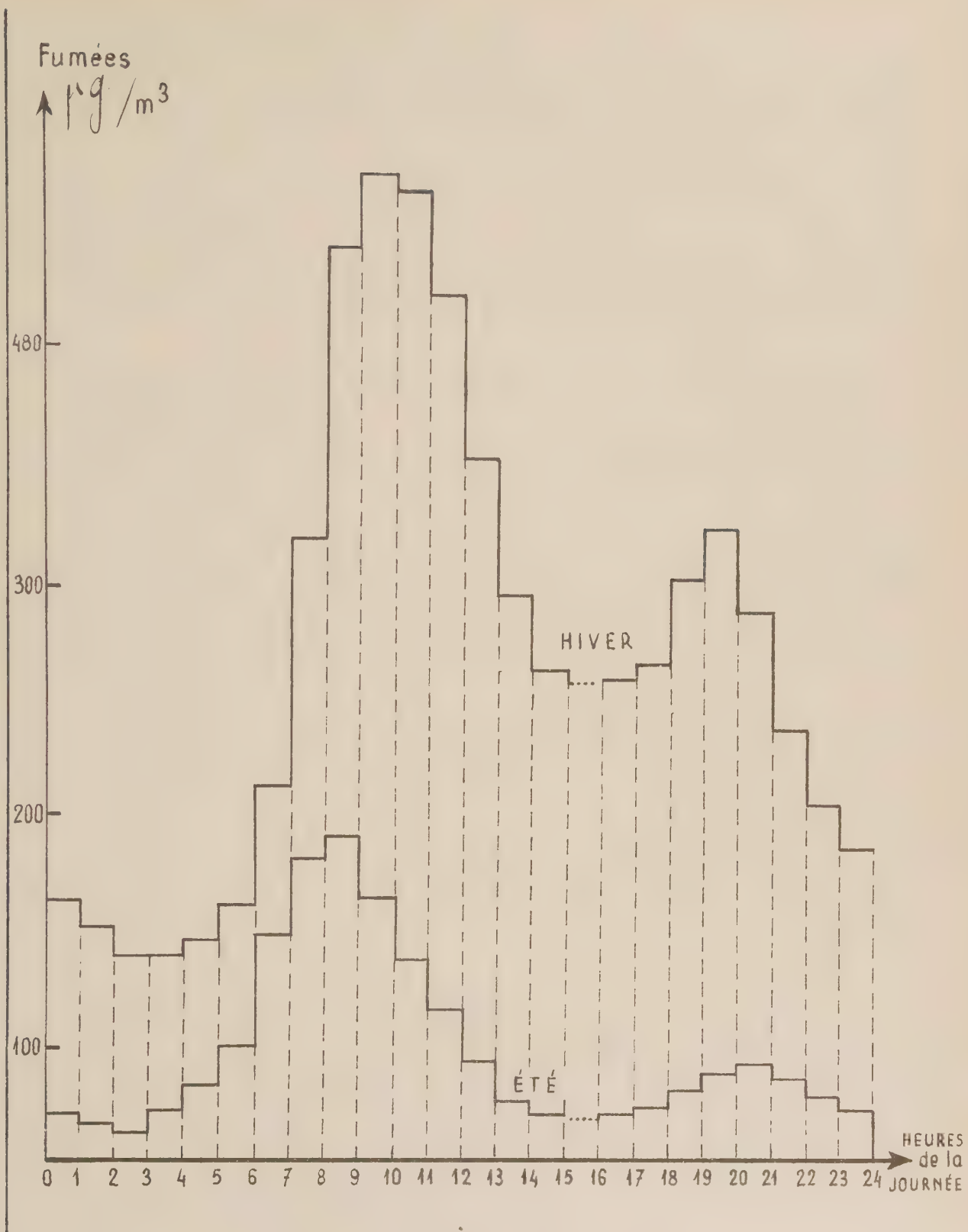


Fig. 1511.

Variation journalière moyenne de la pollution.

Mesures de pollution dans une ville.

Nous prendrons comme exemple l'agglomération parisienne, où la concentration des polluants est déterminée chaque jour par une série de mesures continues et simultanées, en un certain nombre de points fixes (12 actuellement).

1-5-1.1. Examinons d'abord l'allure générale du taux de pollution au cours d'un nycthémère.

Le diagramme des concentrations horaires moyennes établi par le laboratoire d'Hygiène de la Ville de PARIS pour la station centrale (réf.2) et que nous reproduisons-figure 1-5-1.1. indique une évolution journalière cyclique qui montre:

- un minimum net vers 3 heures du matin;
- une montée rapide de 6 h à 10 h, en liaison avec l'accroissement brutal du débit des sources;
- une diminution jusqu'à 16 ou 17 h, qui paraît liée à la fois au ralentissement de la production des polluants, au minimum de stabilité thermique, et au maximum de vent;
- un second maximum relatif vers 20 h;
- enfin une lente diminution jusqu'au lendemain matin. Cette évolution se vérifie pour toutes les stations et pour tous les jours, en dehors d'un petit nombre de cas où les facteurs météorologiques faisant défaut, la diminution nocturne et celle du milieu de la journée sont également absentes. On obtient alors une courbe continuellement croissante d'un jour à l'autre et la pollution atteint des valeurs énormes.

En dehors de ces journées exceptionnelles nous pouvons considérer que le phénomène est cyclique, avec une période de 24 heures, et que le "résidu matinal" garde une valeur à peu près constante au cours d'un même mois.

1-5-1.2. En dehors de la station centrale qui enregistre la pollution de façon continue, les autres postes ne peuvent fournir qu'une valeur journalière du taux moyen. En calculant pour chaque jour la moyenne de ces taux nous obtiendrons une valeur assez représentative de la pollution moyenne de l'atmosphère urbaine, qui serait celle d'une répartition parfaitement homogène des polluants.

1-5-2. Réduction à un modèle simple.

En vue de parvenir à une relation simple entre le taux de pollution et les différents facteurs qui influent sur lui, nous adopterons un modèle élémentaire constitué par un cube reposant sur le sol, et dont le volume et les faces sont égales à l'unité. L'axe oz est la verticale du lieu, l'axe ox est donné par la direction du vent horizontal, de vitesse V . (Fig. 1-5-2.a).

Dans ces conditions nous négligerons les échanges s'effectuant à travers les faces perpendiculaires à oy .

Le vent pénètre par une face normale à ox et sort par la face opposée, entraînant avec lui une partie des polluants qui se trouve à l'intérieur du volume V .

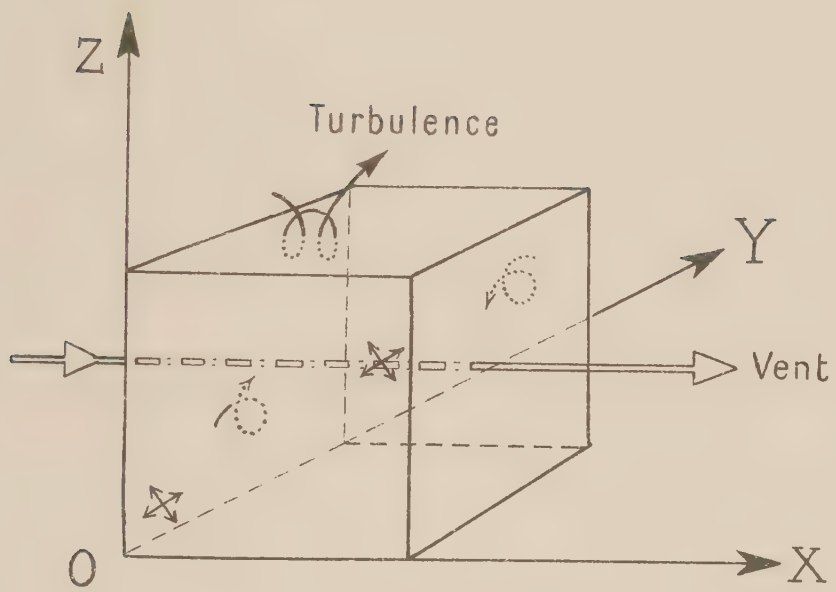


Fig. 152-a-

La turbulence assure l'uniformité de la concentration interne et transporte à travers la paroi supérieure une autre partie des polluants.

Enfin un ensemble de sources fournit une quantité donnée de pollution.

Le volume étant pris égal à l'unité, toutes les quantités mises en jeu par ces échanges s'exprimeront au moyen des concentrations. L'équation du bilan s'obtient en écrivant qu'à chaque instant la concentration varie comme la différence entre la vitesse de production et la vitesse de déperdition:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = f(t) - V.C + D \frac{\partial C}{\partial z}$$

dans cette équation:

1°) Le terme $f(t)$ est la contribution des sources (densité de débit), elle est toujours positive.

2°) Le produit $V.C$ représente la quantité de pollution enlevée par le vent par unité de temps, à travers une face latérale.

3°) La quantité $D \cdot \frac{\partial C}{\partial z}$ est le terme dû à la turbulence, où D est le coefficient d'échange turbulent (Réf.4).

Enfin nous admettrons par la suite que la grandeur:

$$\alpha = - \frac{1}{C} \frac{\partial C}{\partial z}$$

reste constante, au moins au cours d'un même mois. Avec cette hypothèse l'équation des échanges se simplifie encore et devient:

$$\frac{dC}{dt} + (V + \alpha D)C = f(t) \quad (a)$$

Applications pratiques.

1°) Courbe de pollution horaire (figure 15.1-1).

Il serait vain de prétendre exprimer le vent et les paramètres de diffusion en fonction du temps, et nous proposons d'attribuer à ces éléments météorologiques une valeur journalière fixe caractéristique de leur efficacité globale pendant 24 heures - mais variable évidemment d'un jour à l'autre. Nous obtenons ainsi une équation différentielle simple dont la solution est, pour un intervalle de temps inférieur à la journée:

$$C(t) = \left[C(o) + \int_0^t f(t) \cdot e^{(V+\alpha D)t} dt \right] e^{-(V+\alpha D)t} \quad (b)$$

dans laquelle $C(o)$ représente le résidu matinal, au temps $t=0$, pour lequel $f(t) = 0$.

2°) Valeur maximale de la journée. Il existe en général un seul maximum, au temps t_x , voisin de 10 heures du matin.

En désignant par t_m la valeur de t définie par le théorème de la moyenne ($0 < t_m < t_1$)

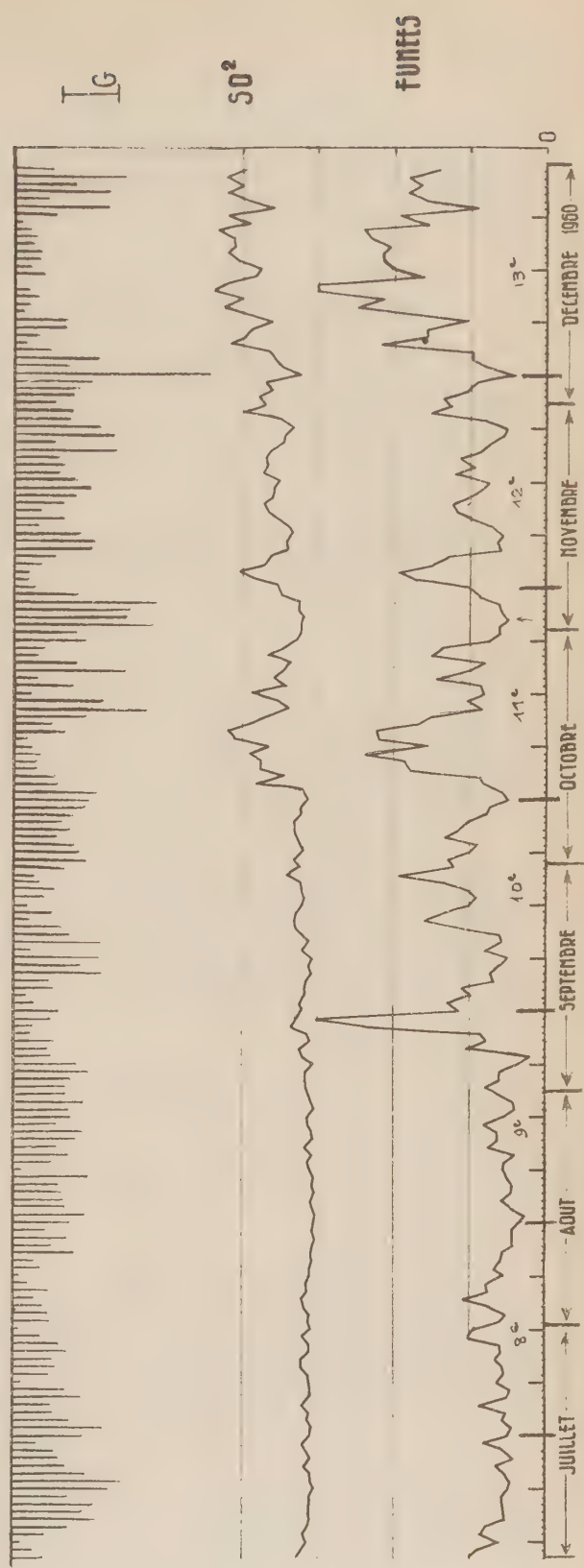
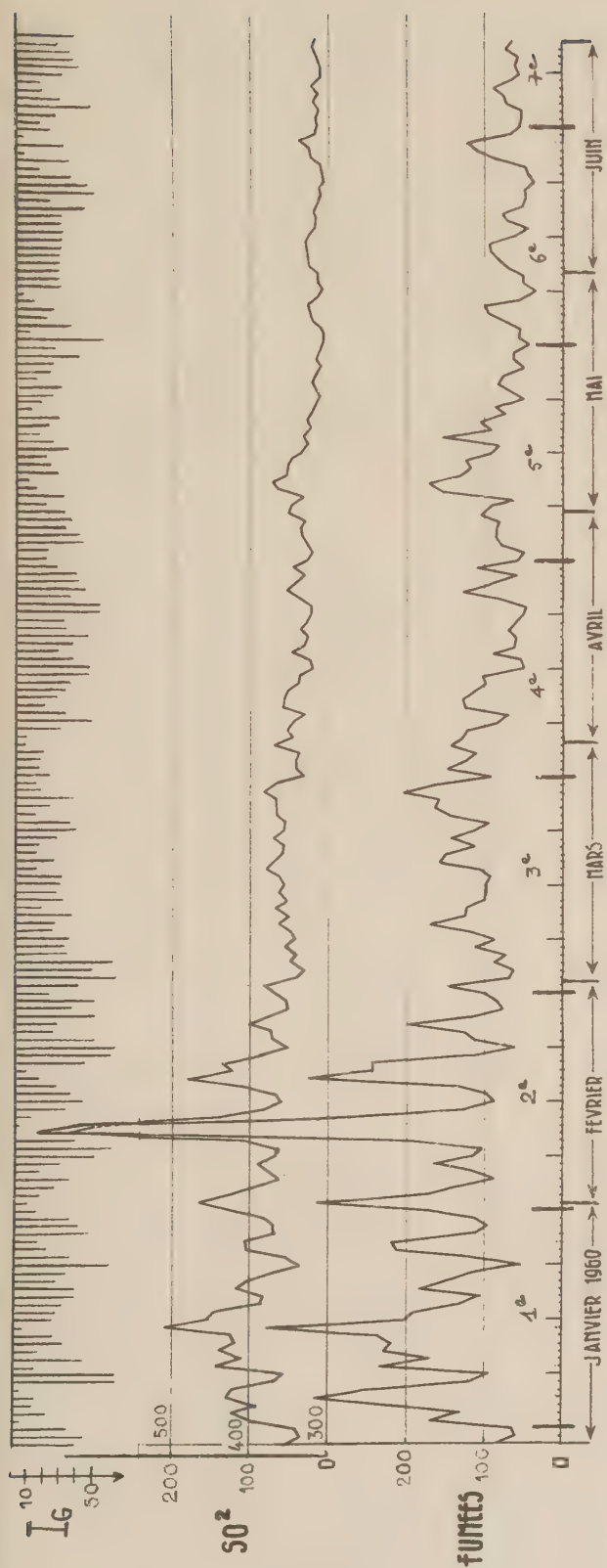


Fig. 152 b

$$\int_0^{t_1} f(t) e^{(v+\alpha_D)t} dt \approx e^{(v+\alpha_D)t_m} \int_0^{t_1} f(t) dt$$

nous obtenons une expression simple de la concentration maximale (en négligeant la contribution résiduelle de C_0)

$$C(tx) = K(tx) e^{-IT}$$

où $K(tx)$ représente l'intégrale de production, $T=tx-t_m$, et $I=v+\alpha_D$.

3°) Valeur moyenne journalière $\bar{C}$ - Courbe annuelle.

Cette valeur nous est fournie par les mesures et nous en présentons (fig.152 b) la courbe ponctuelle pour la pollution à Paris pendant l'année 1960.

Pour exprimer cette valeur $\bar{C}$ à l'aide des équations précédentes nous proposons d'utiliser la demi somme des valeurs maximale et minimale (méthode employée pour la détermination rapide de la température moyenne d'une station)

Alors:

$$\bar{C} = \frac{1}{2} \left[C_0 + K(tx) e^{-IT} \right] \quad (c)$$

Cette nouvelle relation montre que la variation de la moyenne journalière de la pollution ne dépend plus, en définitive, que des seuls facteurs météorologiques, représentés par I , si nous admettons que les variations de C_0 , $K(tx)$ et T peuvent être négligées entre deux journées consécutives.

Nous donnerons, dans les chapitres suivants, les premiers résultats d'une étude statistique, où nous avons, en particulier, calculé les coefficients de corrélation entre les concentrations observées et les éléments météorologiques mesurés. Ces résultats paraissent bien vérifier l'ensemble des hypothèses et approximations admises jusqu'ici, et méritent que les recherches soient poursuivies dans cette voie.

1-5-3. Compléments sur le rôle des facteurs météorologiques.

1-3.1. Le paragraphe précédent nous laisse entrevoir ce rôle primordial que nous allons maintenant préciser pour chacun des aspects du problème général.

1-5-3.2. Signification du coefficient de diffusion turbulente.

PRANDLT (Réf.3) et ROULLEAU (Réf.4) ont montré que le coefficient de diffusion turbulent est proportionnel au produit $w.l$ de la composante verticale de la vitesse du tourbillon par la distance l représentant le parcours moyen de mélange, qui, en première approximation, peut être confondu avec l'épaisseur de la couche de tourbillon.

Nous sommes donc amené, à propos de la turbulence, à rechercher une expression de D ou plus exactement du produit $w.l$, en fonction de grandeurs météorologiques plus facilement accessibles aux mesures.

1-5-3.3. La turbulence au voisinage du sol.

L'étude de la turbulence atmosphérique montre que les structures capables de créer et d'entretenir les tourbillons sont nombreuses. En atmosphère libre la cause principale de turbulence est l'existence de gradients élevés ou variables de vent ou de densité.

Près du sol intervient une cause supplémentaire: la rugosité.

En ville la forme géométrique des obstacles: usines, bâtiments, quadrillage des rues etc... favorise le déclenchement des tourbillons en introduisant des discontinuités brusques de la vitesse (PRANDLT).

En plaine le frottement est moindre et la formation des tourbillons exige une vitesse d'ensemble plus forte. Comme les tourbillons dissipent de l'énergie, qui ne peut provenir que d'une réduction de la vitesse moyenne on comprend l'importance du problème pour l'étude de la pollution urbaine. En effet, la rugosité qui peut se définir comme le rapport de la hauteur moyenne des obstacles à leur espacement moyen, ralentit l'entraînement des polluants en diminuant la vitesse du vent, mais favorise la turbulence mécanique, donc accélère la diffusion vers le haut: de cette dualité d'action on peut tirer des normes de construction qui tiennent compte des valeurs moyennes - ou climatologiques -

L'expérience montre qu'en définitive il existe fréquemment dans les premières centaines de mètres au-dessus du sol un gradient vertical de vent, dû pour une part au frottement, variant comme la rugosité, et modifié d'autre part par la structure thermique et barique de l'atmosphère.

On démontre (réf.4) que la puissance dissipée par le frottement interne (travail des forces tangentielles) est proportionnelle au coefficient de viscosité et au carré du module du gradient de vent, ce dernier réalisant toujours l'"arrangement" des vitesses qui rend cette dissipation minimale (Réf.5).

En exprimant cette puissance par unité de masse de l'air son expression est donc:

$$p = \nu \left[\frac{\partial V}{\partial z} \right]^2$$

dans laquelle $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ est le coefficient de viscosité cinématique (pour l'air, à 0°C et 1013 millibars de pression atmosphérique $\nu = 0,133 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$)

Cette puissance, perdue pour le mouvement d'ensemble de la couche de frottement, constitue au niveau du tourbillon un apport, une puissance reçue. A leur tour, les particules d'air déplacées verticalement subissent une force de rappel vers leur position d'origine lorsque l'atmosphère est thermiquement stable. En admettant alors, avec l'ensemble des météorologistes que les transformations thermodynamiques s'effectuent, au cours des mouvements verticaux, selon un processus adiabatique, on montre que cette force de rappel (ou poussée d'ARCHIMEDE) est proportionnelle à la différence des températures entre la particule déplacée et l'air ambiant.

En désignant par:

$\frac{\partial T}{\partial z}$ le gradient vertical de température réelle

β le gradient suivant la loi adiabatique

la puissance consommée contre la pesanteur, au cours d'un déplacement élémentaire, par l'unité de masse d'air est alors donnée par:

$$p_1 = \frac{g}{T} \left(\beta - \frac{\partial T}{\partial z} \right) dz \cdot w.$$

Différentes expressions du bilan d'énergie.

1°) RICHARDSON avait montré, dès 1920 (Réf. 6-7) que le bilan des puissances reçue p et consommée p_1 devait fournir une indication sur la variabilité de la turbulence. En écrivant que la différence $p - p_1$ est égale à la variation d'énergie cinétique par unité de temps nous pouvons effectivement - en admettant par ailleurs qu'il y ait équipartition de l'énergie - relier le gain de puissance à l'accélération de la vitesse ($\frac{dw}{dt}$) du tourbillon:

$$p - p_1 = \frac{k}{2} w \cdot \frac{dw}{dt} \quad (k = \text{constante})$$

2°) Pour avoir le bilan complet et obtenir une expression de la vitesse seule nous proposons d'ajouter aux échanges énergétiques la fraction dissipée par le tourbillon lui-même, proportionnelle au carré de sa vitesse (Cette dissipation par le tourbillon engendrera à son tour des turbulences de seconde espèce, très petites par rapport à lui, et le phénomène se répétera jusqu'à l'échelle moléculaire où apparaîtra finalement une petite élévation de température).

En écrivant qu'au niveau du tourbillon ce nouveau bilan est nul lorsque le degré de la turbulence est stationnaire on obtient:

$$(a) \quad Kw^2 + \frac{g}{T} \left(\beta - \frac{\partial T}{\partial z} \right) dz \cdot w - \nu \left[\frac{\partial v}{\partial z} \right]^2 = 0$$

qui est la relation cherchée.

Le nouveau terme de dissipation est petit devant les deux autres qui sont sensiblement du même ordre de grandeur (à condition de donner à ν , coefficient de viscosité turbulente, une valeur 10^5 fois plus grande - comme pour la conductivité turbulente: Réf. 4 et 8) - qu'à l'échelle moléculaire. Remarquons que K contient aussi ce coefficient, avec une valeur qui est intermédiaire aux deux précédentes).

Application pratique.

En pratique on calculera les gradients moyens sur une tranche d'épaisseur H (quelques centaines de mètres), supérieure à l'épaisseur l d'une couche de tourbillons. L'équation (a) admet les racines approchées:

$$(b) \quad w = -A (\Delta T) \pm B (\Delta V)$$

où A et B sont des groupements de constantes, ΔT et ΔV respectivement l'écart de température potentielle et la variation du vent entre le sol et le niveau H .

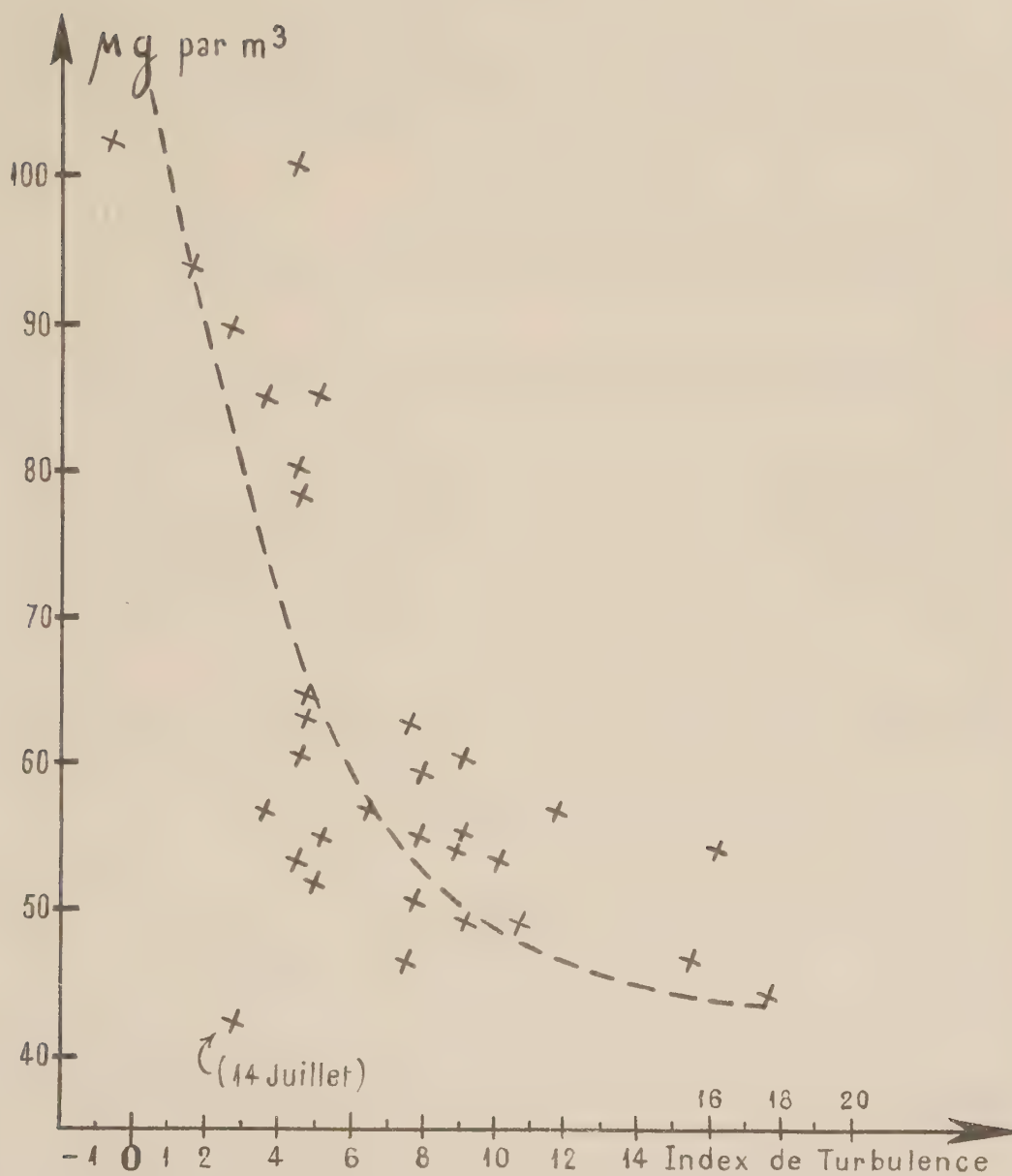


Fig. 1533 — Mois de Juillet 1960. Fumées -
Variation de la pollution avec la turbulence.

En posant $H = kl$ ($k > 0$) on peut faire apparaître le produit $w.l$ qui figure dans l'expression du coefficient de diffusion turbulente D

$$(c) \quad w.l = - A' (\Delta T) \pm B' (\Delta V)$$

Discussion. Dans l'expression de la puissance p le gradient de vent intervient au carré, on aura donc un résultat identique qu'il y ait augmentation ou diminution du vent en altitude. Par conséquent, dans les expressions (b) et (c) seules les solutions en $+$ (ΔV) ont une réalité physique.

En particulier:

1°) Si $\Delta V = 0$, il ne peut y avoir de turbulence que si $\Delta T < 0$, c'est-à-dire si la couche est thermiquement instable (l'été, au milieu de la journée).

2°) Si $\Delta T < 0$, avec $\Delta V \neq 0$: la turbulence est très forte, les énergies mécanique et thermique s'ajoutant au lieu de se retrancher.

3°) Si $\Delta T = 0$, la turbulence ne dépend que du gradient de vent.

Vérification. Malgré l'impossibilité d'isoler les effets de chacune des variables météorologiques nous pouvons essayer de vérifier deux résultats théoriques essentiels:

1°) La loi exponentielle entre la concentration des polluants et la turbulence.

2°) L'assimilation du coefficient de diffusion à un simple "index de turbulence" défini par la relation:

$$D = k (w.l) = a \Delta V + b \Delta T$$

dans laquelle:

$$a = 1 \text{ (V étant exprimé en mètre-seconde)}$$

$$b = 2,5 \text{ (T étant exprimé en degré C°)}$$

et les différences finies ΔT et ΔV étant calculées pour une couche de 300 mètres d'épaisseur environ (voir seconde partie).

La figure 1533 - b - représente les pollutions journalières par fumées pour le mois de Juillet 1960 en fonction de cet "index de turbulence". Elle paraît répondre à notre attente de façon satisfaisante si nous remarquons que des causes extérieures perturbent nécessairement les relations théoriques.

Ainsi le coefficient de diffusion turbulente semble pouvoir s'exprimer en fonction des gradients verticaux de vent et de température qui sont des grandeurs facilement accessibles à partir des mesures météorologiques de routine.

1-5-3.4. Le vent. En dépit de quelques irrégularités liées à la rugosité du sol, la vitesse du vent en plaine est assez voisine de celle qui résulte de la structure du champ de pression à très grande échelle (hémisphérique ou

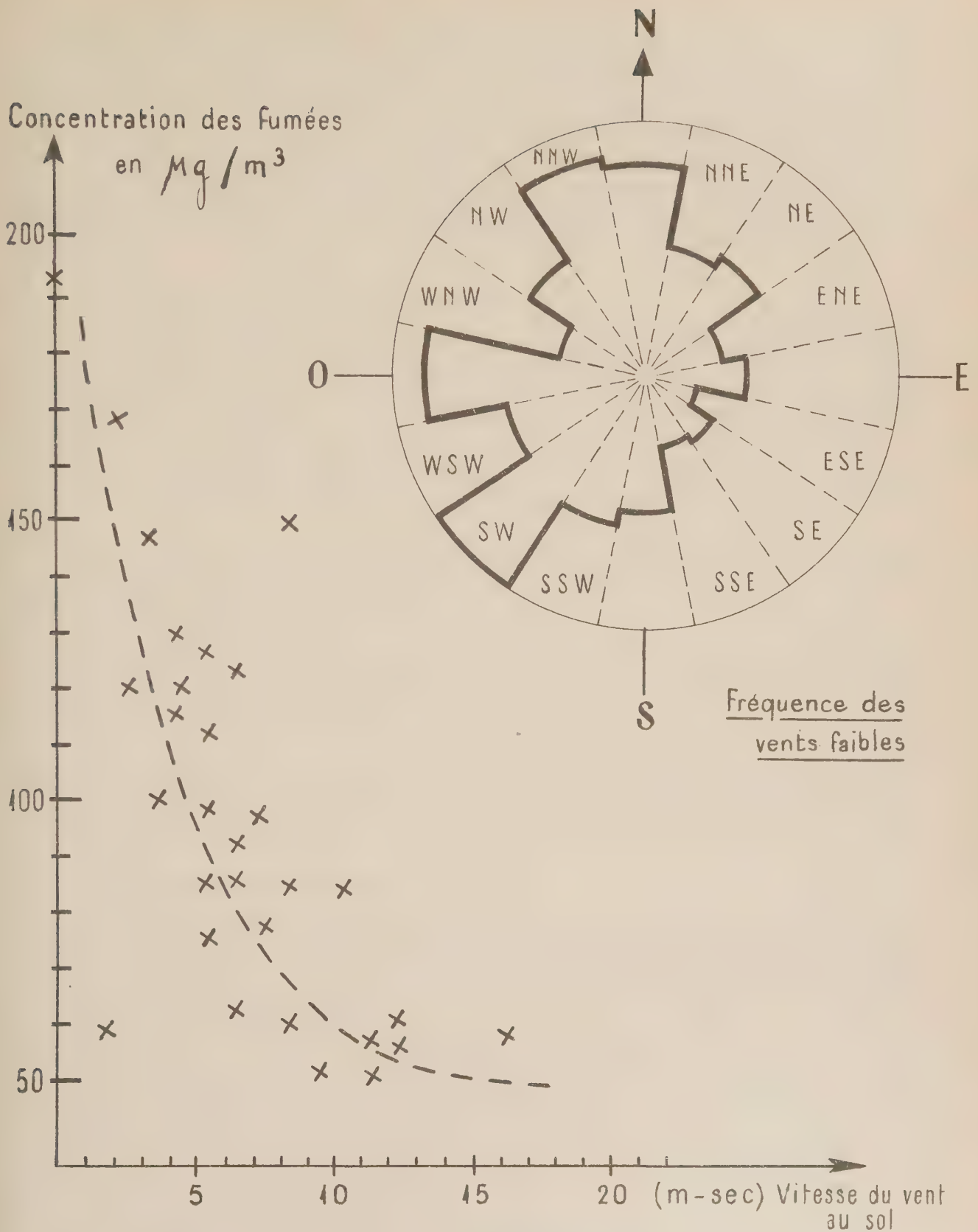


Fig. 1534 - a -
Variation de la pollution avec le vent.

continentale). La prévision du vent à 24 heures d'échéance est statistiquement satisfaisante. En revanche il est impossible, actuellement, de dire longtemps à l'avance la durée ni la date d'une éventuelle période de vent calme, qui constitue, au point de vue de la pollution, un risque majeur si elle survient en hiver. En cette saison elle est toujours associée à une forte stabilité de l'air et l'on peut alors être placé dans le cas où, toute diffusion cessant, la pollution peut devenir extrême. Une étude climatologique préalable au plan d'urbanisme se révèle ainsi nécessaire avant toute création de cité nouvelle, comme avant tout projet d'extension des villes actuelles.

Nous présentons ici deux schémas:

1°) Un diagramme des vents faibles, suivant les différentes directions, valable pour la région parisienne. La statistique porte sur 10 années consécutives d'observation (10 956 mesures). Les vitesses retenues sont: 2 et 3 mètre-seconde, représentant 3868 observations, soit 35% des cas (La vitesse 1 m-sec., non classable pour la direction, étant comptée avec les vents calmes, la fréquence de ces deux groupes est de 33 %). On en déduit facilement l'axe le plus favorable au développement des villes de cette région: soit ESE - WNW, à peu près celui de la Seine en aval de PARIS.

2°) Un graphique de la pollution en fonction de la vitesse du vent en Novembre 1960. Le choix de ce mois est fait en raison de la fréquence élevée des vitesses moyennes et fortes.

La courbe représente une assez bonne justification de la loi exponentielle déduite de l'équation des échanges (152- c-) compte tenu de l'inévitable dispersion de quelques points les jours de forte stabilité - au-dessus de la courbe - ou d'instabilité - au-dessous.

On remarquera que la diminution de la pollution devient très lente pour les vitesses de vent supérieures à 12 mètre-seconde. Nous avons pu vérifier pour d'autres époques ce résultat, qui, au point de vue pratique est d'une très grande importance.

Problèmes liés au panache.

De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude de la concentration des particules à l'intérieur d'un panache de fumée. Certaines conclusions pouvant intéresser le problème de la pollution urbaine nous ferons sommairement l'analyse de leurs principaux résultats en particulier de ceux obtenus en FRANCE par SAISSAC (Réf.9).

Cet auteur étudie la diffusion de la fumée émise par une source à débit constant, à un certain niveau au-dessus du sol. Le vent crée un panache d'allongement continu et horizontal, ce qui permet de relier les distances au temps, et de suivre aisément l'accroissement d'une section donnée du panache.

Les principaux résultats sont:

1 - Vérification de la distribution gaussienne dans divers plans perpendiculaires à l'axe du vent moyen (choisi comme axe des x). On trouve une figure analogue à celle obtenue par KAMPE DE FERIET avec des bulles de savon,

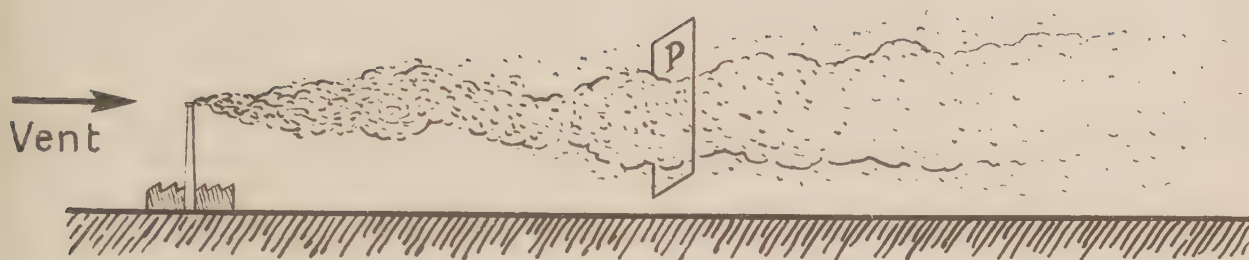


Fig. 1534-b-

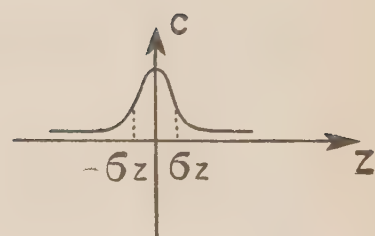
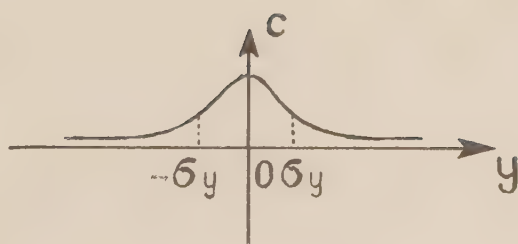
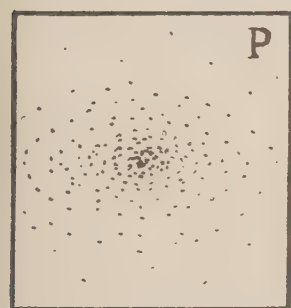


Fig. 1534-c-

à la différence près que l'étalement de la courbe est plus grand suivant l'axe transverse que sur l'axe vertical. On a donc: $\sigma_y > \sigma_z$.

2 - En proposant de caractériser l'anisotropie par le rapport de ces écarts-types, l'auteur trace, pour des sections du panache situées à diverses distances de la source, les indicatrices de l'écart-type. Les courbes sont des ellipses aplaties, donnant une bonne représentation du panache tel qu'il se présente à la vue.

Cependant en répétant les mesures pour différents niveaux et différentes valeurs de stabilité verticale l'auteur obtient des rapports $\frac{\sigma_y}{\sigma_z}$ voisins de 1, quand l'altitude augmente et que la stabilité diminue (au sol $\sigma_z = 0$).

3 - Etudiant la concentration au sol l'auteur trouve une répartition, conforme à la théorie, présentant un maximum à une certaine distance de la source (fig. suivante).

Ce résultat s'interprète facilement par l'étude des trajectoires des molécules venant rebondir sur le sol, et, au point de vue théorique, par l'introduction d'une source virtuelle, symétrique de la source réelle par rapport au sol (Réf.10).

Dans le cas des polluants gazeux la captation par le sol est quasi-nulle: les cotes de concentration ont, dans la zone du maximum, une valeur double de celles observées dans l'axe du panache à la même distance.

Les principales études théoriques se rapportant à cette question sont, en Angleterre celles de TAYLOR - ROBERTS - SUTTON, et plus récemment en FRANCE les travaux de LAVIE - DOURY - etc. Malgré la forme plus rigoureuse que J. SAISSAC a su donner aux équations de diffusion dans le cas du panache de fumée, les hypothèses de départ rendent délicate la transposition des calculs théoriques au cas de la pollution urbaine, en raison de l'absence de diffusion latérale (sauf sur les bords latéraux du panache, négligeables devant l'étalement horizontal) et surtout parce que la zone de concentration maximale est elle même source d'émission. Ces deux circonstances concourent à majorer sensiblement les taux de pollution qui résulteraient du calcul, ce que nous pouvons facilement montrer en considérant deux secteurs principaux.

Sur le secteur amont (au vent) la turbulence mécanique liée à la rugosité de la ville produit un panache qui s'étale sur le secteur aval. Ce panache constitue un obstacle à la diffusion verticale, entraîne l'accumulation des polluants près du sol, et une augmentation de la concentration jusqu'à ce que celle-ci atteigne une valeur suffisante pour que le flux vertical puisse à nouveau équilibrer la production.

Quant à la position du centre de concentration maximale elle est quasi-indépendante de la vitesse du vent. En adoptant, avec la plupart des auteurs la relation de SUTTON:

$$x_{(max)} = \left(\frac{h}{D} \right)^{\frac{2}{2-n}}$$

pour la distance de ce maximum, dans laquelle n est un indice de stabilité, compris entre 0 et 1, h la hauteur du panache, D la diffusivité verticale, nous pouvons l'appliquer à une suite de sous-secteurs $s_1, s_2, s_3 \dots$ comptés

A 2000 m de la source :



A 1000 m :



A 500 m :

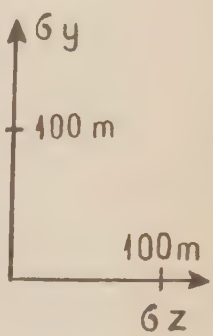


Fig. 1534 - d -

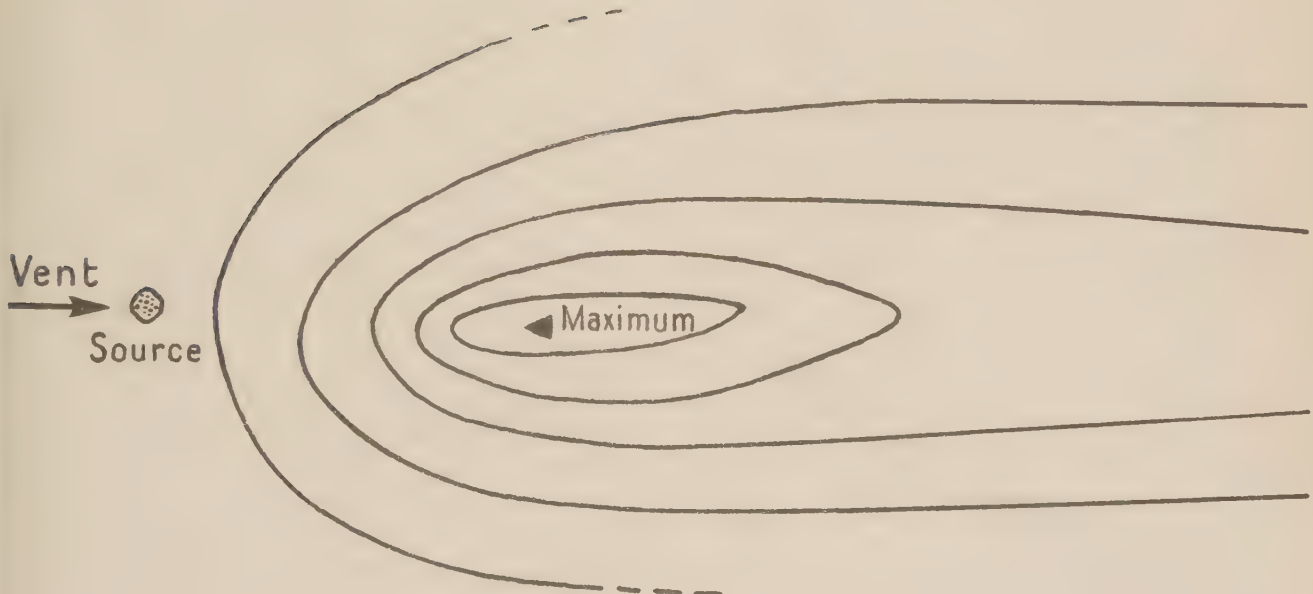


Fig. 1534 - e - (Vue en plan)

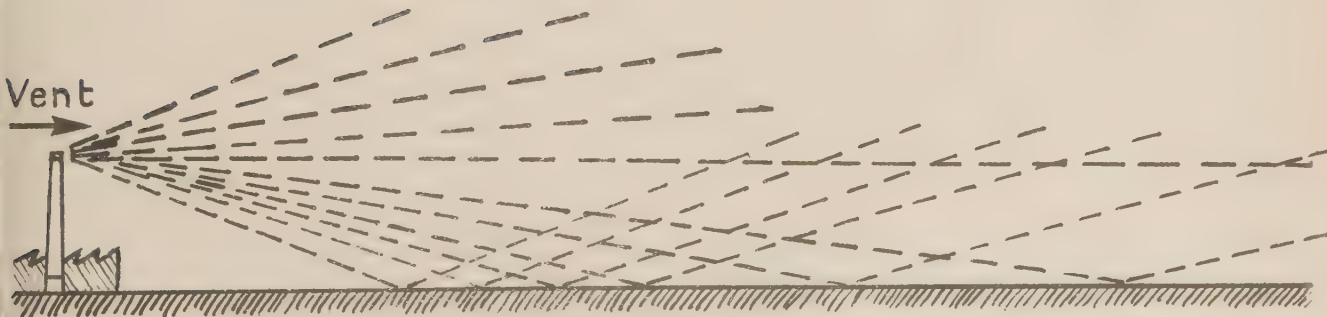


Fig. 1534 - f -



Fig. 1534 - g -
Effet de panache.

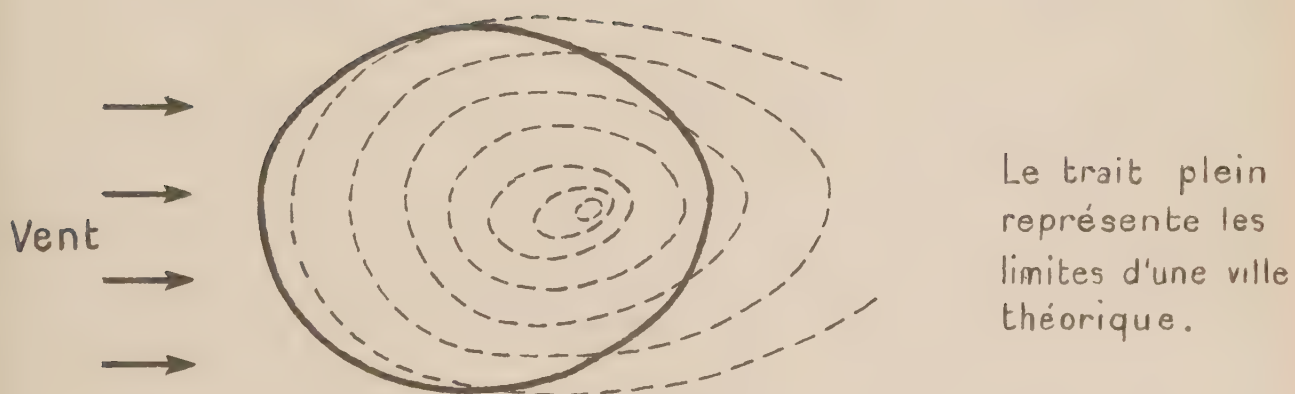


Fig. 1534 - h -
Zone de plus forte augmentation de la pollution.

à partir de $x = 0$ c'est-à-dire de la limite de la ville exposée au vent. Dans ces conditions l'indice de stabilité n n'est plus fonction, pour une situation donnée, que de la turbulence mécanique qui augmente du bord de la ville vers son centre, de sorte que la distance des maximums de concentration relatifs à chacun des sous-secteurs va en diminuant. On aboutit ainsi à la formation d'une zone commune de concentration maximale située quelque part dans le secteur "sous le vent". (Fig. 1-5-3.4.g-).

En résumé les conditions moyennes de stabilité de l'air et la rugosité de la ville (hauteur et espacement des immeubles) se conjuguent pour fixer la distance moyenne ($x_{\max}$) du secteur critique. L'objection habituellement faite à ce raisonnement est qu'il existera toujours une zone de plus forte concentration, même si on réduit l'extension transversale de la ville; mais cette remarque tombe si l'on impose à la valeur de la pollution observée dans le secteur aval d'être supérieure à sa moyenne pour affirmer qu'elle traduit effectivement une accumulation, due aux processus décrits dans ce paragraphe.

Les lignes d'égale concentration prennent la forme théorique suivante, indépendante de la vitesse du vent. (Fig. 1-5-3.4.h-).

Nous donnons, dans la seconde partie, quelques exemples réels qui justifient ces considérations schématiques, et permettent de fixer la distance critique au-delà de laquelle la concentration croît par effet de panache.

1-5-4. La diffusion des polluants solides.

Les particules solides rejetées dans l'air suivent le sort des polluants gazeux, à quelques détails près que nous examinerons rapidement.

1-5-4.1. Le mouvement brownien. Il n'intéresse que les granules dont le diamètre est inférieur à $0,1 \mu$. Il est visible au microscope, alors que l'agitation moléculaire du gaz, auquel il est dû, ne l'est pas. Le granule est donc une énorme boule au milieu des molécules, son diamètre étant de l'ordre de grandeur du libre parcours moyen de ces dernières. Cependant, malgré ce changement d'échelle, et compte tenu du caractère aléatoire des vitesses et des déplacements instantanés du granule on définit son mouvement à l'aide d'un "libre parcours moyen" et des vitesses moyenne et quadratique.

Finalement le mouvement brownien respecte les distances relatives moyennes entre les granules, qui oscillent perpétuellement autour d'une position fixe (relativement aux autres granules: il y a dans l'ensemble une lente chute vers le sol).

Il en va autrement dans deux cas particuliers:

1°) Les granules possèdent une charge électrique, et il existe un champ électrique: dans ces conditions les éléments de même signe se déplacent dans la même direction, à une vitesse proportionnelle à leur charge E et à la valeur du champ H :

$$v = \text{constante} \times E \times H.$$

La seule application de cette propriété au problème de la pollution se trouve dans les techniques de dépoussiérage, au chapitre des séparateurs électriques (encore appelés: filtres électrostatiques, électrofiltres, séparateurs électroniques etc.) dont on connaît le rendement exceptionnel.

2°) Il existe un gradient de concentration des granules: c'est précisément le cas de la pollution atmosphérique.

On doit à EINSTEIN une étude de ce phénomène, et l'expression de la diffusivité D dans ce cas particulier:

$$D_{(b)} = \frac{\Delta^2}{2t}$$

où Δ représente le déplacement quadritique moyen de sorte qu'en appelant "vitesse de translation" le quotient $\frac{\Delta}{t}$, l'expression de $D_{(b)}$ (diffusivité brownienne) est encore de la même forme que pour les gaz.

1-5-4.2. La sédimentation.

1-5-4.2.1. La retombée des particules solides s'effectue, sous l'action de la gravité, à des vitesses variables suivant la granulométrie, mais il n'existe pas de loi générale, et nous devons distinguer plusieurs groupes de granules:

1 - Au-dessous de $0,1 \mu$ c'est le domaine du mouvement brownien, la sédimentation est très lente et peut être négligée à notre échelle.

2 - Jusqu'à 10μ la vitesse de chute est donnée par la loi de STOKES: elle est proportionnelle au carré du diamètre d :

$$v = \frac{\rho_g d^2}{18\nu} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} \rho = \text{masse spécifique du granule} \\ \nu = \text{viscosité cinématique de l'air.} \end{array}$$

3 - Entre 10μ et 1 millimètre c'est un domaine intermédiaire: vitesse proportionnelle au diamètre:

$$v = 4 d \quad (\text{approximativement}).$$

4 - Au-dessus de 1 millimètre c'est la loi de NEWTON: vitesse proportionnelle à la racine carrée du diamètre:

$$v = \left[\frac{4 \rho}{3c \rho'} g d \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{avec } \rho' = \text{masse spécifique de l'air}$$

et c = coefficient de résistance, voisin de 0,5 jusqu'à $d = 4$ millimètres.

1-5-4.2.2. Le problème des retombées solides des grosses particules.

Son étude théorique est un pur divertissement, et nous savons que l'essentiel réside dans la détermination pratique des coefficients, qui sont la seule difficulté du problème. Nous pouvons, pour simplifier, noter que la plus grande partie des gros granules a un diamètre compris entre 20μ et 1 millimètre; d'autre part sur notre statistique des vitesses de vent (voir, 1-5-3.4),

Some of the things I found



Fig. 15422.
Retombée des particules solides.

nous avons trouvé une fréquence des vents inférieurs à 7 mètre-seconde égale à 88% des cas.

Le problème ainsi limité à l'essentiel se résoud facilement en exprimant que la distance x des retombées est donnée par:

$$x = h \cdot \frac{V}{v}$$

produit de la hauteur h de la source par le quotient des vitesses V et v du vent et des particules. Pour une hauteur de cheminée de 30m on trouve x compris entre 30m et 2.000m.

Nous pouvons remarquer d'ailleurs que puisque le diamètre minimum des granules qui retombent augmente avec l'agitation de l'air - donc avec V - leur vitesse de chute v est grosso-modo proportionnelle à V de sorte que x devient indépendant de la vitesse du vent, à un terme de stabilité près.

Le facteur de proportionnalité étant compris entre 1 et 30, x restera inférieur en général à 1.000m dans les conditions définies plus haut. (Fig.1-5-4.2.2.).

Cette figure est à rapprocher de celles [1-5-3.4.e-f] donnant la concentration des polluants gazeux dans le lit du panache.

1-5-4.2.3. Distribution moyenne suivant l'altitude.

Nous admettons, avec la plupart des auteurs (Réf.) que la répartition moyenne des poussières en altitude suit également une loi exponentielle:

$$F = F_0 e^{-\alpha z}$$

(F = masse de poussière par unité de volume à l'altitude z)

Sur un diagramme semi-logarithmique on peut calculer α en utilisant par exemple les valeurs moyennes des quantités F de poussières observées à la base et au sommet de la Tour St-Jacques. Voici pour l'année 1960, les valeurs de α trouvées (voir figure 1-5-4.2.3.) à partir des moyennes mensuelles.

Mois	α	Mois	α
Janvier	0,0025	Juillet	0,0034
Février	0,0026	Août	0,0034
Mars	0,0039	Septembre	0,0041
Avril	0,0041	Octobre	0,0022
Mai	0,0012	Novembre	0,0039
Juin	0,0036	Décembre	0,0039

La loi adoptée permet donc un calcul approximatif facile de la hauteur de la coupole polluée, et de la quantité résiduelle de pollution pour tel niveau où l'on se propose d'élever un immeuble, d'installer un laboratoire, une salle d'éducation physique, un centre médical, etc...

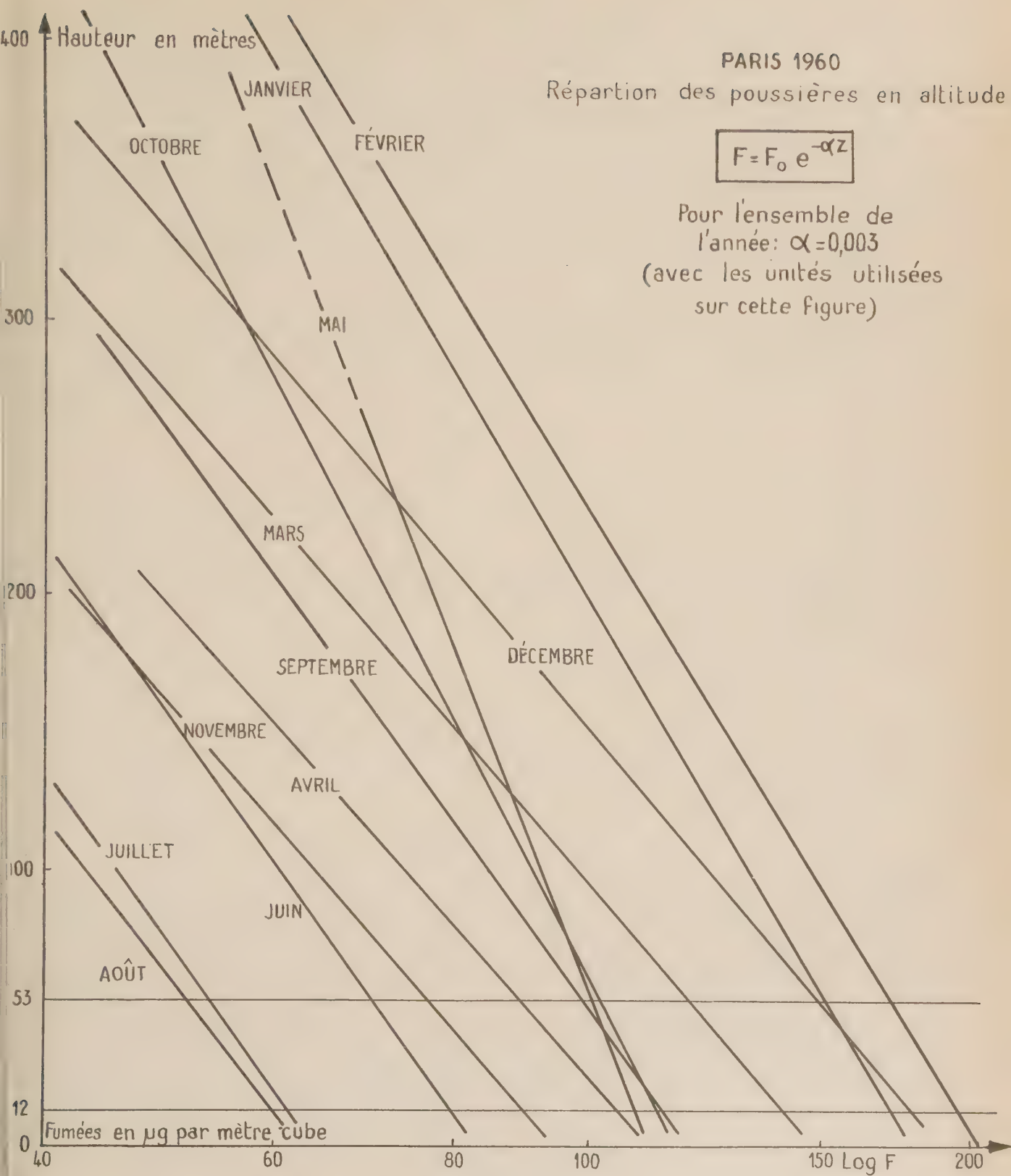


Fig. 15423

1-5-4.2.4. Différences du comportement moyen des polluants au point de vue de leur diffusion.

Les formules rappelées au début de ce paragraphe donnent la vitesse de chute des granules solides relativement à l'air. Par conséquent, les mouvements ascendants qui facilitent la diffusion des gaz s'opposent à la chute des poussières. Inversement, l'absence de toute agitation turbulente et de tout soulèvement facilite leur sédimentation, mais ralentit la diffusion gazeuse. L'air de PARIS peut ainsi, en une nuit de forte stabilité et de vent calme se débarrasser de tous les granules ayant un diamètre supérieur à une valeur donnée, valeur d'autant plus basse que la stabilité est grande.

Si l'on admet que la production des polluants, à Paris, s'effectue dans un rapport constant des différents éléments entre eux, nous pouvons estimer la plus ou moins grande solidarité de leur comportement par le calcul du coefficient de corrélation d'un polluant gazeux et des poussières. On trouve, entre SO_2 et fumées:

r voisin de 0,80.

1-6- Autres facteurs qui interviennent dans la diffusion atmosphérique. Les hydrométéores.

En plus des facteurs étudiés dans les paragraphes précédents, il faut mentionner l'importance des éléments locaux qui interviennent dans la répartition et la vitesse de diffusion des polluants. Tels sont par exemple:

- topographie des lieux: vallée, collines, vallons, falaise, plaine...;
- hydrologie (lacs, étangs, mer, rivière);
- types de cultures, Forêts;
- position relative des sources de pollution et des zones d'habitation;
- répartition de ces sources, hauteur au-dessus du sol des foyers d'émission;
- régime des vents locaux etc...

Parmi les facteurs d'ordre général, nous devons mentionner encore les hydrométéores: pluie, bruine, neige. Leur mode d'action est particulier, en ce sens qu'ils n'interviennent pas dans la diffusion des polluants, mais au contraire les captent pour les précipiter vers le sol. L'épuration qui en résulte est très complète, et le seul problème est celui d'une action possible des dépôts sur les surfaces exposées. Si l'intensité et surtout la durée de la pluie sont suffisantes pour entraîner tous les éléments captés vers les égouts, les rivières, ou directement dans le sol, les précipitations insuffisantes comme la bruine laissant subsister au contraire un dépôt corrosif ou toxique sur les surfaces découvertes: toitures, murailles, carrosseries, cultures potagères, arbres, fruits...

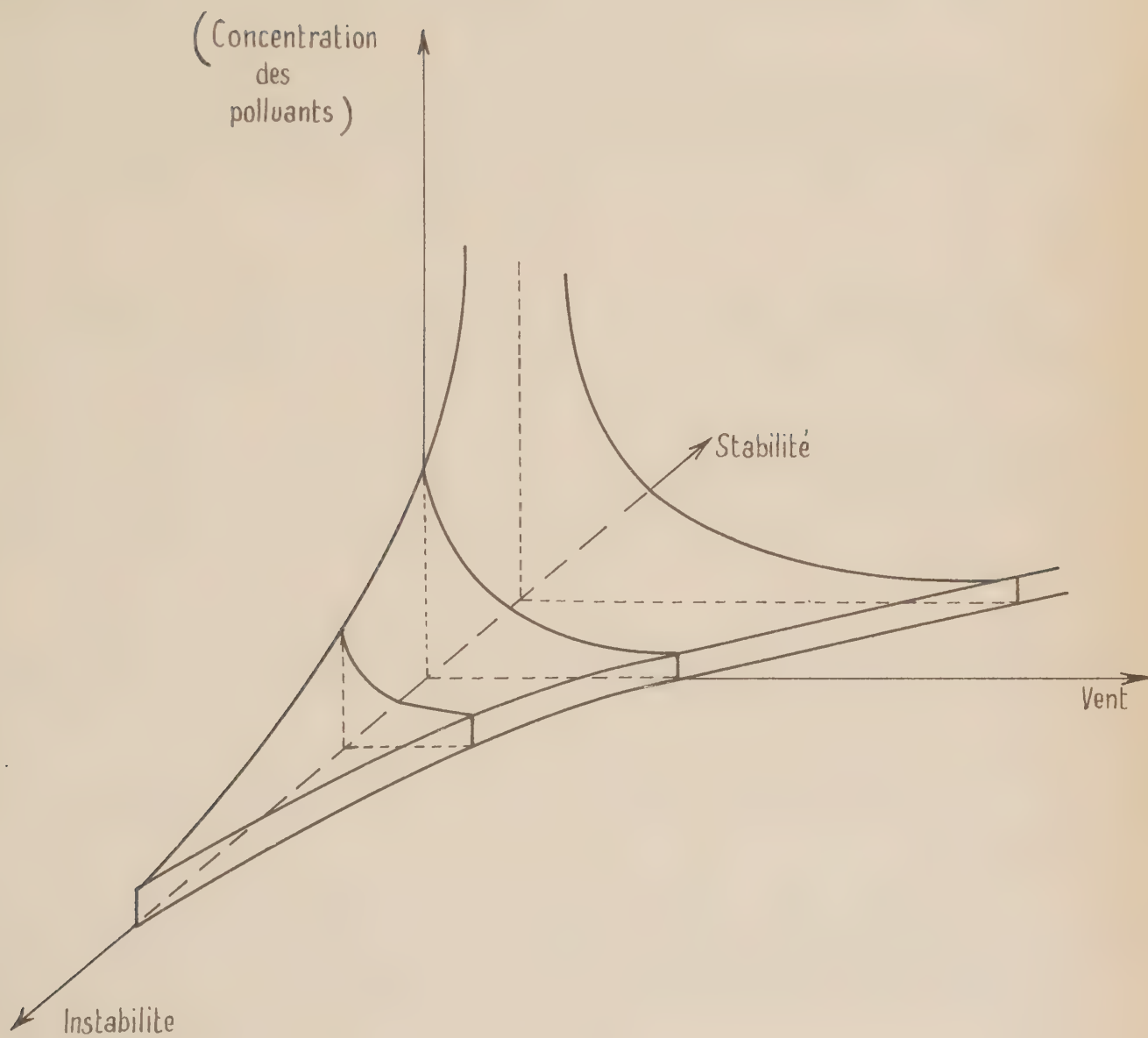


Fig. 1-7-a

1-7- Recherche d'un indice météorologique global "I_G" -

En vue d'une éventuelle utilisation pratique nous avons essayé de définir un indice d'épuration météorologique de la pollution aérienne qui traduise l'ensemble des actions indépendantes de chacun des facteurs (appelé aussi "index" par son promoteur R. MITTNER Réf.11).

Un tel indice pourrait, par exemple représenter la somme des éléments météorologiques qui figurent dans l'exposant de l'expression de la concentration moyenne (152-c-) tenant compte de la relation entre la diffusivité turbulente et les gradients verticaux 1533-b- etc. nous proposons de définir cet indice par:

$$I_G = a (\Delta V) + b (\Delta T) + c V + E.$$

où ΔV et ΔT représentent (voir 1533) les variations de la vitesse du vent et de la température pour une élévation donnée, de l'ordre de la centaine de mètres au-dessus du sol, - E la hauteur d'eau tombée, - a, b, c des constantes fournies par l'expérience, et dépendant des unités choisies.

Cette définition implique que chacun des termes de I_G est lié à la concentration par une loi logarithmique, ce que nous avons vérifié pour les trois premiers. Quant à la quantité E de pluie, nous n'avons pu le faire étant donné le caractère sporadique du phénomène, mais rien ne paraît s'opposer à ce qu'elle figure dans l'indice avec les autres variables.

Essai de représentation de la pollution.

Comme la fonction $\bar{C}$ dépend de quatre variables il est impossible de la représenter. En ne conservant que le paramètre de stabilité et le vent on obtiendrait une surface ayant l'aspect de la figure 17 - a.

1-8- Transformations subies par les polluants sous l'influence des facteurs météorologiques.

Nous savons que les polluants peuvent séjourner plusieurs jours sur le lieu même de leur production. La conjonction d'air calme et de forte stabilité - caractéristique de certaines configurations météorologiques fréquentes - en hiver - facilite des transformations chimiques dont nous entrevoyons les processus. Les mieux étudiées sont celles qui aboutissent à la formation de produits toxiques.

1-8-1. L'ozone. L'intermédiaire souvent rencontré dans ces réactions est l'ozone. Ce gaz, très rare (voir 1221) dans les premiers milliers de mètres se rencontre surtout dans la haute atmosphère, où l'on trouve trois couches d'importance croissante: la première vers 6 km, la seconde vers 15 km, la dernière vers 23 km d'altitude. Un taux élevé près du sol, au sein d'une atmosphère polluée et stagnante s'explique par l'action photochimique du rayonnement solaire sur certains composés oxygénés. (Travaux de A.J. HAAGEN-SMIT - California Institute of Techn.).

A partir de l'ozone on peut montrer qu'il existe toute une série de réactions chimiques, calquées sur le modèle suivant:



L'oxyde ainsi obtenu peut être réduit par des radicaux libres sous l'effet des rayons solaires

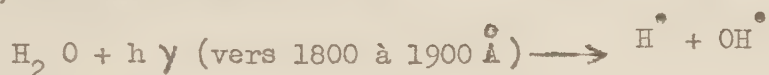


avec reformation d'ozone à l'aide de l'oxygène atomique (processus très incertains dans la basse atmosphère)



1-8-2. Les Radicaux libres -

Ils proviendraient également de l'action photonique. Avec une molécule d'eau (vapeur) on aurait ainsi:



On identifie des radicaux libres très divers:



1-8-3. Composés divers. Les particules solides, les fumées et les suies spécialement, ont été bien étudiées en France (R. TRUHAUT Réf.12) pour leurs propriétés cancérigènes (dibenzo 1-2-3-4 anthracène;- benzo 3-4 phénantrène). On n'a pas jusqu'ici essayé de mesurer les variations de leur pouvoir pathogène en fonction de la durée de leur séjour dans la couche polluée. On sait que bon nombre de ces substances cytotoxiques sont présents dans les goudrons, or ces derniers, qui représentent environ 35% du poids total des poussières recueillies au filtre de téflon, sont solubles dans le benzène. Le benzène, provenant des imbrûlés du moteur à explosion,- sous forme d'aérosols,- fixera d'autant mieux les goudrons qu'il restera lui-même plus longtemps à l'état liquide, ce qui, en définitive, dépend pour une part importante des conditions météorologiques: humidité, brouillard.

1-8-4. Rôle particulier des gouttelettes de brouillard.

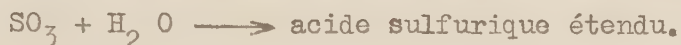
On a signalé un peu partout la toxicité particulière de certains brouillards. Citons, pour mémoire, quelques exemples célèbres en EUROPE:

- ceux de Londres: 1873 - 1880 - 1891 (572 morts),
1952 (4.000 morts) - 1956 (1.000 morts);
- celui de la Meuse (Belgique) du 1er au 5 Décembre 1930 qui fit 63
morts et de nombreuses victimes plus ou moins gravement atteintes;

- ceux de Paris: Décembre 1951 - Février 1954.

L'étude météorologique de ces cas (Réf.13) a montré la similitude des situations correspondantes. Cependant les processus chimiques ou physico-chimiques capables d'augmenter la toxicité des polluants n'ont été qu'imparfaitement élucidés: la simple sommation des nuisances de chaque polluant ne justifie pas le degré atteint. Nous sommes donc conduits à imaginer les processus possibles suivants:

a) Nous savons déjà que les gouttelettes d'eau du brouillard fixent les molécules (ou groupement de molécules) d'anhydride sulfurique, de chlore, de fluor... pour donner une solution de l'acide correspondant. Par exemple:



Ces molécules échappent ainsi à la diffusion gazeuse, la plus active, et leur probabilité d'être inhalées puis fixées sur l'alvéole pulmonaire s'en trouve accrue.

b) Les granules solides sont également captés par les gouttelettes d'eau, qui peuvent être déjà (ci-dessus) plus ou moins acides - ou au contraire alcalines. On a émis l'hypothèse que cette triple association potentialisait l'action du radical actif, soit en bloquant le système de neutralisation, soit en permettant une libération échelonnée des fonctions acides, ou basiques, assurant dans tous les cas une meilleure pénétration dans la muqueuse respiratoire et l'épithélium alvéolaire. La présence d'amas anthracosiques, surtout nets au voisinage des bronches, apporte à cette hypothèse le soutien anatomo-pathologique de sa vraisemblance. On rapprochera aussi des accidents rappelés au début de ce paragraphe la bonne tolérance au SO_2 constatée chez les ouvriers employés au traitement des dérivés soufrés, malgré une concentration élevée, mais isolée, de ce gaz dans les ateliers.

c) L'action néfaste du brouillard peut encore se concevoir d'une autre manière. Les réactions chimiques ou photochimiques rappelées au début de ce paragraphe, et dans lesquelles l'ozone joue un rôle essentiel, sont toutes des réactions d'équilibre (Loi de GULBERG et WAAGE). Elles ne donnent qu'une quantité limitée de produits nouveaux, dont certains hautement toxiques: ozonides, pentoxyde d'azote etc... Il n'en est plus de même en présence de gouttelettes d'eau capables de fixer ces produits au fur et à mesure de leur production (Lois de BERTHOLLET généralisées). En ajoutant une phase à la réaction, celle-ci est alors totale dans le sens de cette formation, sans autre limite que la disponibilité en produits initiaux, en particulier en ozone, dont le taux devient ainsi un indicateur indirect de toxicité (CMA: 1.10⁻⁶).

En définitive la présence simultanée de gouttelettes d'eau près du sol (brouillard, brume) et du rayonnement solaire (donc en l'absence de nuages) apparaît comme un facteur essentiel d'exaltation de la toxicité chimique des polluants atmosphériques. Suivant la prédominance de l'un ou de l'autre des processus de transformation on aboutit à une atmosphère acide, ou oxydante, ou déséquilibrée dans ses formules virale et bactérienne, ou cancérigène, ou simplement anoxémiant.

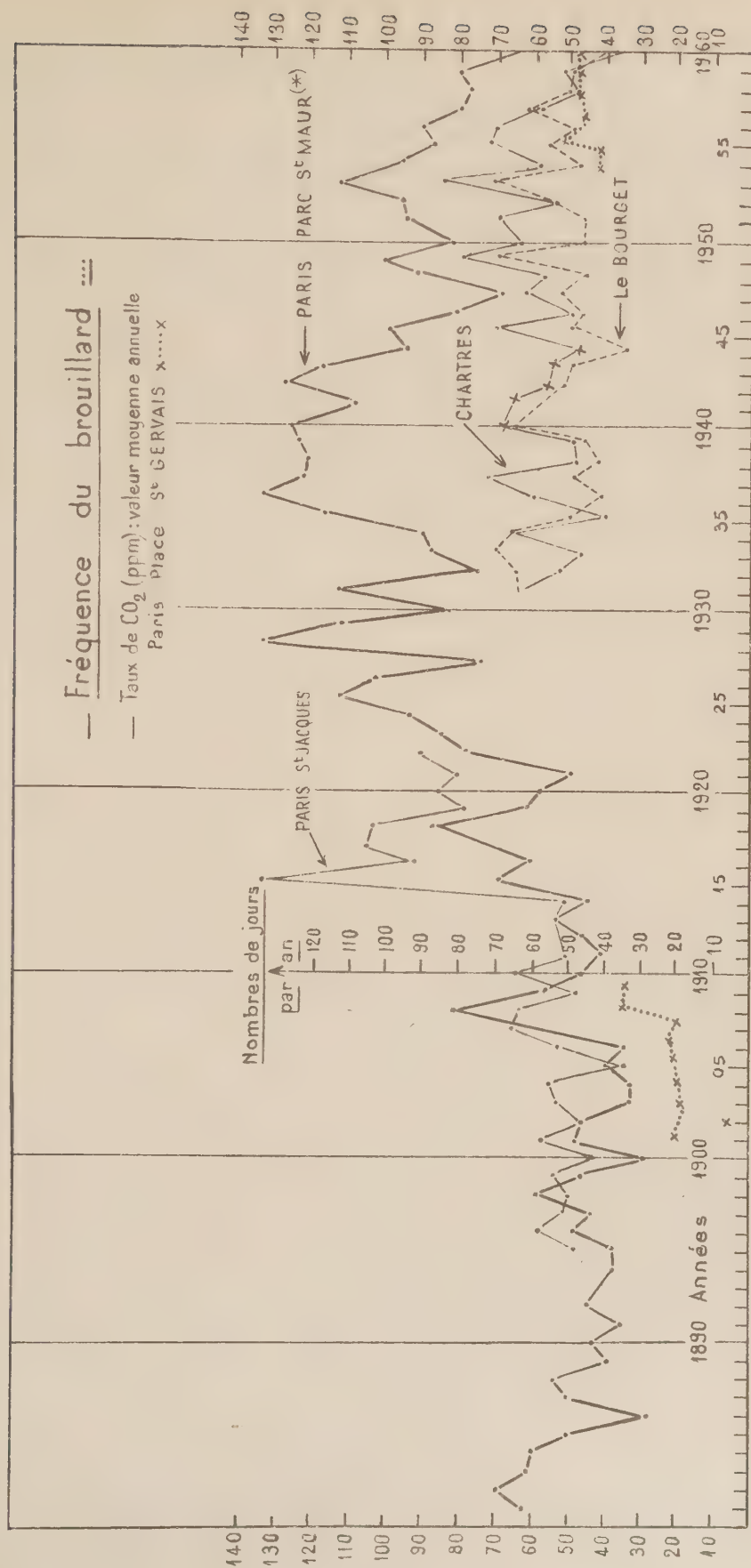


Fig. 1921 - a -

1-9 - Pollution et Hygiène publique.

D'importants travaux de spécialistes sont consacrés à ce problème, qui n'est pas du cadre de cette étude (voir en particulier Réf.14). Nous nous contenterons d'énumérer brièvement quelques nuisances.

1-9-1. Dans le domaine de la médecine proprement dite.

- Action immédiate:

- 1) recrudescence des affections de l'appareil respiratoire et de ses voies annexes: pulmonaire, bronchique, trachéale, laryngo-pharyngo-nasale, sinusienne, otitique - et leurs complications locales ou à distance;
- 2) recrudescence ou développement des affections épidémiques (grippe);
- 3) accélération des processus de décompensation brutale, entraînant une mortalité plus élevée chez les insuffisants de toute espèce.

- Action retardée:

- 1) Intoxication chronique (CO , SO_2 ...), granulopénie;
- 2) action cumulative de certains dérivés toxiques;
- 3) Action favorisante ou déterminante sur certains processus tumoraux, en particulier cancéreux.

1-9-2. Dans le domaine de l'hygiène.

1-9-2.1. Action sur le climat local. Il semble que des généralisations hâtives reposant sur l'augmentation brutale de la fréquence du brouillard consécutive à l'industrialisation rapide de PARIS vers 1915-1916 doivent aujourd'hui être corrigées. Nous présentons ici quelques courbes (fig.1-9-2.1.a) qui donnent le nombre annuel de jours de brouillard au Parc St-Maur, au BOURGET et à CHARTRES. Les critères de détermination du brouillard ne sont pas constants: à St-Maur la courbe n'est homogène que depuis 1935; pour les deux autres stations les critères sont identiques, mais plus sévères qu'à St-Maur*, ce qui entraîne une fréquence plus basse. Nous retiendrons la quasi similitude des courbes du BOURGET et de CHARTRES, et la diminution générale du brouillard depuis dix ans qui paraît liée à une évolution climatologique. Ainsi "l'alerte au brouillard", si souvent donnée par L. BESSON (Réf.15) se justifiait par l'absence de dépoussiérage des fumées et par l'emploi de charbon de très mauvaise qualité. Il semble qu'aujourd'hui le problème des fumées soit en partie résolu. Un autre aspect de la question est donné par la fig.1-9-2.1. b avec les durées d'insolation dont les courbes ne semblent refléter qu'une suite de fluctuations climatologiques que l'on retrouve aussi bien dans les stations-témoins qu'au centre même de PARIS.

1-9-2.2. Action sur le bio-climat.

Si nous pouvons, par des mesures élémentaires, éviter que la pollution - surtout par le fait des fumées - modifie le climat, et même le microclimat, nous sommes jusqu'ici incapables de nous opposer aux graves perturbations qu'elle détermine dans le bio-climat. Nous avons évoqué déjà au chapitre 1-8

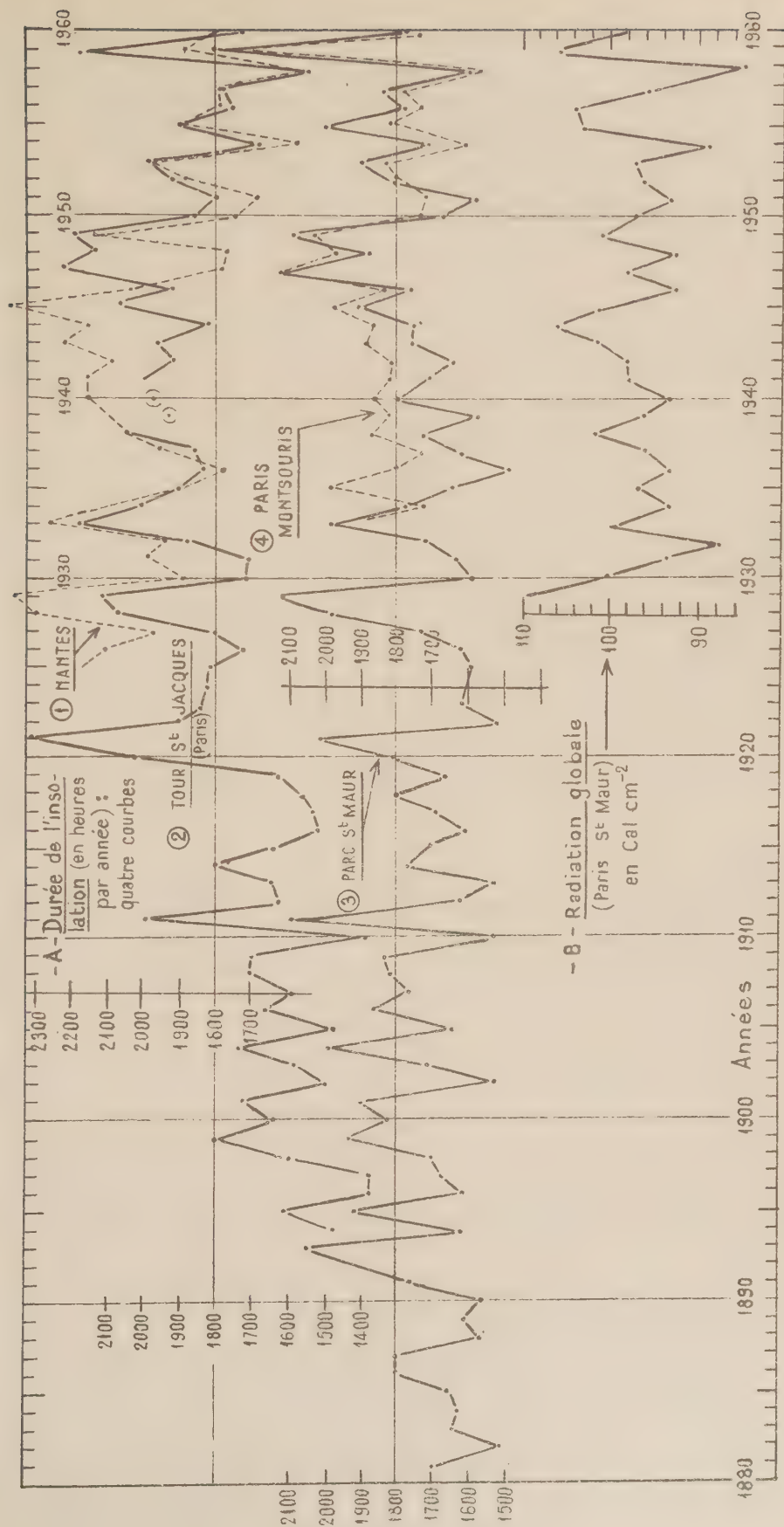


Fig. 1921 - b -

quelques uns des processus par lesquels les polluants augmentent leur toxicité sous l'influence des facteurs météorologiques. En ne conservant que l'aspect médical du problème de la pollution nous devons toutefois tenir compte aussi de l'action des polluants sur les éléments du bio-climat:

- a) quantités absolue et relative du rayonnement direct et diffus;
- b) parts respectives dans (a) des U.V. et des I.R.;
- c) ionisation;
- d) champ électrique au voisinage du sol;
- e) quantités absolue et relative des germes aériens pathogènes et non pathogènes; etc...

Nous n'avons sur ce problème d'autres indications que des mesures sporadiques ou peu homogènes; d'autre part l'absence de corrélation entre les valeurs trouvées et les paramètres météorologiques enlève à ces mesures l'essentiel de leur signification. Ainsi s'est affirmée chez la plupart la conviction d'une indépendance de l'homme vis-à-vis de son bio-climat, chez quelques autres celle d'une inextricable complexité des interactions des différents éléments, au demeurant très peu efficaces. Laissant de côté la question d'un déterminisme très discutable il nous paraît acquis que certains éléments de l'atmosphère des villes peuvent, par exemple, favoriser l'extension massive des épidémies grippales, ou même d'un simple rhume de cerveau, ou expliquer la surmortalité urbaine des seuls adultes et vieillards.

1-9-2.3. Cas particulier de l'ionisation. Les relations entre ions et santé humaine ont été étudiées pour la première fois par A.P. SOKOLOV vers 1902.

Elles n'ont fait depuis aucun progrès sérieux, sauf au chapitre de l'utilisation thérapeutique et anti-algique de l'ionisation artificielle (travaux de l'Institut PAVLOV de Physiologie - Académie des Sciences de l'U.R.S.S.). Les résultats obtenus ne peuvent s'extrapoler qu'avec prudence au cas de l'ionisation naturelle en raison des valeurs beaucoup plus faibles des concentrations d'ions observées dans l'atmosphère.

Schématiquement nous résumerons les connaissances actuelles en quelques points:

- a) la concentration urbaine fait baisser le nombre des ions de petites dimensions au profit des ions Langevin;
- b) l'absence des petits ions diminue la sensation de bien être et accroît la fatigue, tandis que
- c) les fortes concentrations ont une action bactériostatique, vis-à-vis du staphylocoque en particulier, et une action entrophique sur la respiration;
- d) les ions positifs aggravent les processus allergiques, l'ionisation négative soulage l'asthme, le rhume, les réactions allergiques;
- e) les variations brutales de polarité, les gradients élevés entraînent chez un grand nombre de personnes des perturbations de l'onde α à l'E.E.G. (Réf.16). On sait par ailleurs la sensibilité de certains "météorolabiles" aux grandes manifestations météorologiques: passage d'une zone frontale, approche d'un orage, subsidence synoptique etc.

En définitive, s'il est probable que la pollution bouscule la répartition des ions, dans leur nature et leur polarité, il reste à définir les conséquences de ces perturbations, tant immédiates qu'à long terme, par des mesures simultanées d'ionisation de l'air et des paramètres physiologiques: E.E.G. - E.C.G. - chronaxies - pH - rH - activité de la medullosurrenale etc.

1-9-3. Le point de vue démographique.

1-9-3.1. Etude sur une longue période.

Dans son "Histoire de la Population Mondiale de 1700 à 1948"

M.^r M.R. REINHARD note, au chapitre de la population française (p.235 - réf.17)

"Traditionnellement la mortalité urbaine l'emportait sur la mortalité rurale, mais l'écart se réduisit beaucoup: de 50 pour 10.000 en 1885 il tomba à 18 en 1913. L'urbanisme, les conditions de vie, l'équipement médical expliquent ce progrès des villes".

En effet si l'on compare entre eux, année par année les taux de mortalité de la Seine et de la France entière cette évolution est nette et s'est poursuivie, depuis la publication de cette remarquable étude, pour aboutir depuis quelques années à des écarts de signe contraire.

Cependant l'amélioration de la santé en milieu urbain est très inégale suivant l'âge, et pour mieux apprécier ce phénomène nous avons calculé pour chaque groupe d'âge l'écart relatif des taux de mortalité de la Seine et de la France, soit en pourcentage:

$$e = \frac{\text{Taux Seine} - \text{Taux France}}{\text{Taux France}} \times 100$$

Voici les résultats essentiels.

Années	1860	1890	1901	1946	1954
0 à 1 an	122,5	25,6	33,3	-11,8	?
1 à 4 ans	64,4	84,0			
5 à 9	29,2	34,5	42,05	-18,5	-14,8
10 à 14	23,2	30,4	24,4	-25,0	- 8,0
15 à 19			17,6	-18,1	10,2
20 à 24	3,2	20,0	7,4	-10,5	-14,6
25 à 29			3,6	-13,3	-19,3
30 à 34	25,6	46,0	37,8	-20,0	-11,3
35 à 39			62,0	-20,0	-10,8
40 à 44	42,5	60,4	77,5	-12,2	- 9,6
45 à 49			68,1	-10,9	2,6
50 à 54	47,2	50,8	80,1	- 6,3	- 0,5
55 à 59			84,4	0	2,4
60 à 64	30,3	29,6	94,9	6,5	4,3
65 à 69			68,8	7,8	3,4
70 à 74	18,1	16,6	49,4	10,1	?
75 à 79			35,8	5,4	
80 à 84	-1,3	13,6	45,5		
85 à 89			?	7,5	
90 et au-delà	38,1	23,5			

De l'analyse de ce tableau se dégagent les conclusions suivantes:

1) La mortalité infantile diminue plus vite à Paris que dans le reste du pays, et son taux devient, en 1946 plus bas dans la Seine qu'en FRANCE. Il en est de même, en général pour les jeunes générations.

2) L'écart relatif des taux de mortalité des adultes âgés va, au contraire, en augmentant de 1860 à 1901 - et sans doute encore au-delà - et paraît suivre les progrès de l'industrialisation du département; et de la pollution par fumées en particulier.

3) En 1946 la mortalité est plus faible dans la Seine qu'en FRANCE, jusqu'à 60 ans; c'est l'époque des profondes réformes sociales et de la généralisation des thérapeutiques nouvelles (antibiotiques) dont les citoyens paraissent avoir bénéficié plus tôt; mais c'est aussi une période de très faible pollution en raison de la pénurie de combustible qui dure depuis cinq ans.

4) Pour l'année 1954 on constate déjà une situation moins favorable qu'en 1946; les écarts ont diminué à partir du groupe 30 à 34 ans, et l'on retrouve des valeurs positives dès 45 ans.

Au total la santé du parisien est aujourd'hui meilleure que celle des autres français pendant la première moitié de sa vie, ensuite il meurt plus tôt.

Cette surmortalité urbaine de l'âge mûr n'apparaît qu'à l'analyse différentielle (en raison du poids de la mortalité infantile sur le taux global) et sa variation semble suivre fidèlement celle de la pollution, à travers les deux périodes de rapide développement des sources polluantes: de 1860 à la première guerre mondiale, et de 1945 à nos jours.

Enfin dans l'interprétation de ces résultats statistiques il faut tenir compte de ce que la référence choisie, c'est-à-dire l'ensemble de la FRANCE, est fortement influencée par la trentaine de Départements où la mortalité des adultes est très élevée du fait de l'alcoolisme. Pour en arriver cependant à dépasser de telles moyennes, véritablement pathologiques, nous devons admettre que le climat urbain est, en fin de compte, plus nocif qu'on l'imagine a priori.

1-9-3.2. Etude sur une courte période. Les remarques précédentes ne permettent pas cependant d'identifier avec certitude l'élément pathogène primordial du "climat" urbain. Nous avons discuté déjà les processus possibles liés à la pollution, les uns à action lente (les plus difficiles à prouver) les autres d'incidence immédiate. Si l'action de ces derniers est réelle nous devons la retrouver lors des périodes de forte pollution (comme dans les cas célèbres déjà cités), tandis qu'en dehors de ces périodes la corrélation doit rester constamment faible ou nulle, entre pollution et mortalité, sous peine de voir leur liaison attribuable au hasard.

Nous donnons ci-après à titre d'exemple, les courbes de mortalité et de pollution pour la Seine, au cours du mois de Février 1959, et nous reprendrons, dans la seconde partie, l'analyse des corrélations pour une année entière.

Le coefficient de corrélation entre les taux de pollution en SO_2 (courbe 1) et le nombre des décès (courbe 3) est:

$$r_{1-3} = 0,49$$

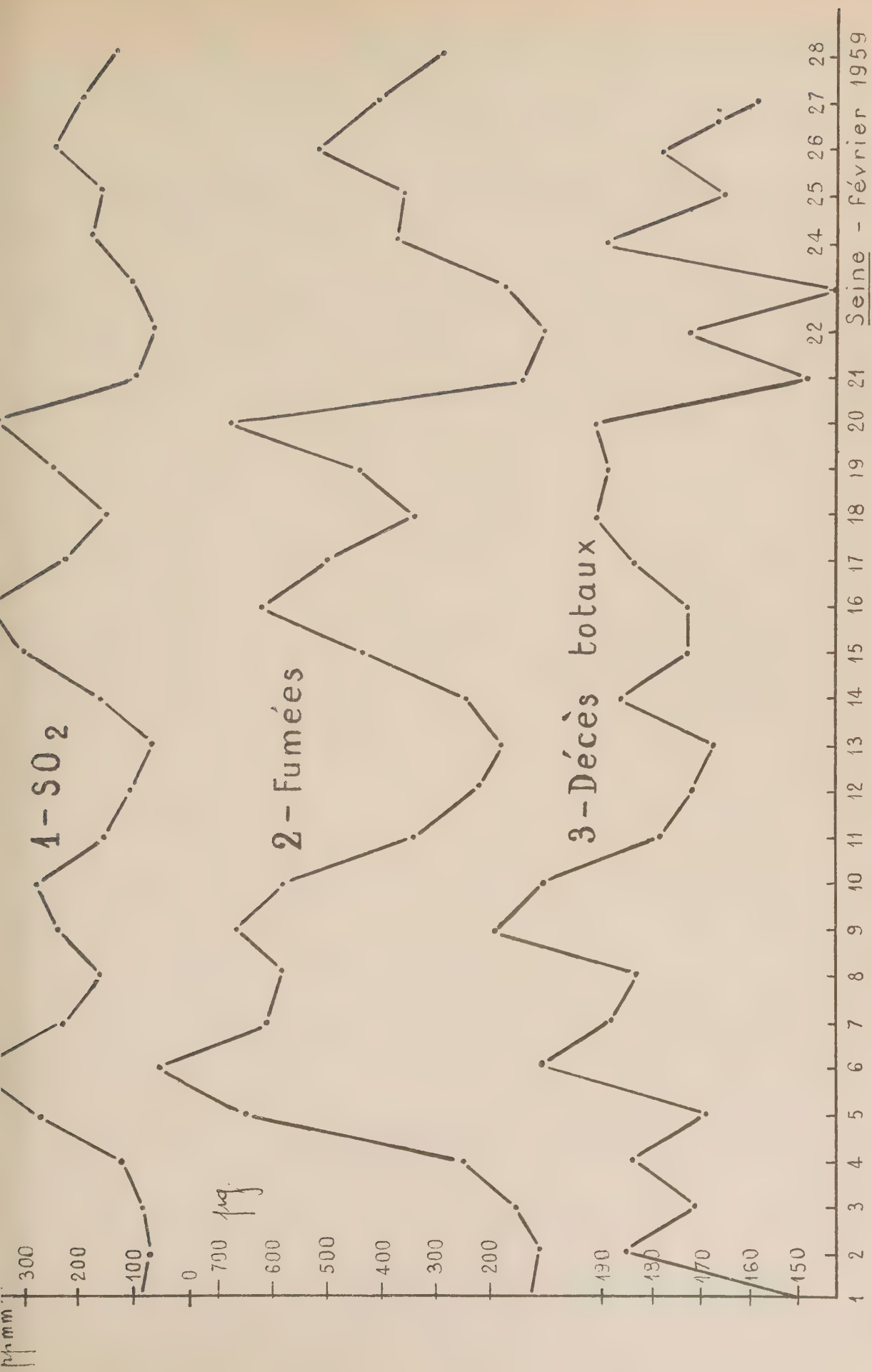


Fig. 1932 - Le coefficient de corrélation entre les taux de pollution en SO₂ (Courbe 1) et le nombre des décès (Courbe 3) est :

$$\chi_{1-3} = 0,49$$

2 - ETUDE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE A PARIS - ANNEE 1960 -

2-1- Les données sur la pollution. Nous nous sommes adressés au Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (Réf.18) pour obtenir les données relatives à la pollution.

Pour son service de surveillance de la pollution le Laboratoire d'Hygiène dispose actuellement d'une douzaine de stations réparties sur le territoire du Département de la Seine. Les stations sont situées entre deux et cinq mètres au-dessus du sol sauf pour les deux ensembles d'appareils installés à la Tour St-Jacques, dont l'un est à la première plateforme à 12m du sol, l'autre à la dernière plateforme à 53m du sol. Toutes effectuent une mesure continue, ce qui permet de relever pour chaque jour de l'année la teneur des deux polluants surveillés:

- l'un gazeux: anhydride sulfuré;
- l'autre solide: fumées et poussières fines.

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux mensuels, pour chaque station et chaque journée.

Nous avons calculé pour chaque jour la moyenne des mesures, et nous admettons que la valeur trouvée représente la concentration $\bar{C}$ qui figure dans les équations de la première partie. En vérité le réseau des stations est encore trop lâche pour qu'il en soit ainsi, et pour certains régimes de vent l'absence de mesures dans le quadrant SE de PARIS est assez sensible.

Suivant l'usage établi par le Laboratoire d'Hygiène nous désignerons par:

S - la pollution due au SO_2 , mesurée par l'acidité forte de l'air, et exprimée en pp mm;

F - la pollution solide, exprimée en microgrammes par mètre cube d'air, après filtration sur papier spécial (CA 32) et mesure réflectométrique des noircissements.

2-2- Les données démographiques.

Nous les avons tirées des différentes publications de l'Institut de statistique (Réf.19) et de la revue "Population" de l'Institut National d'Etudes démographiques.

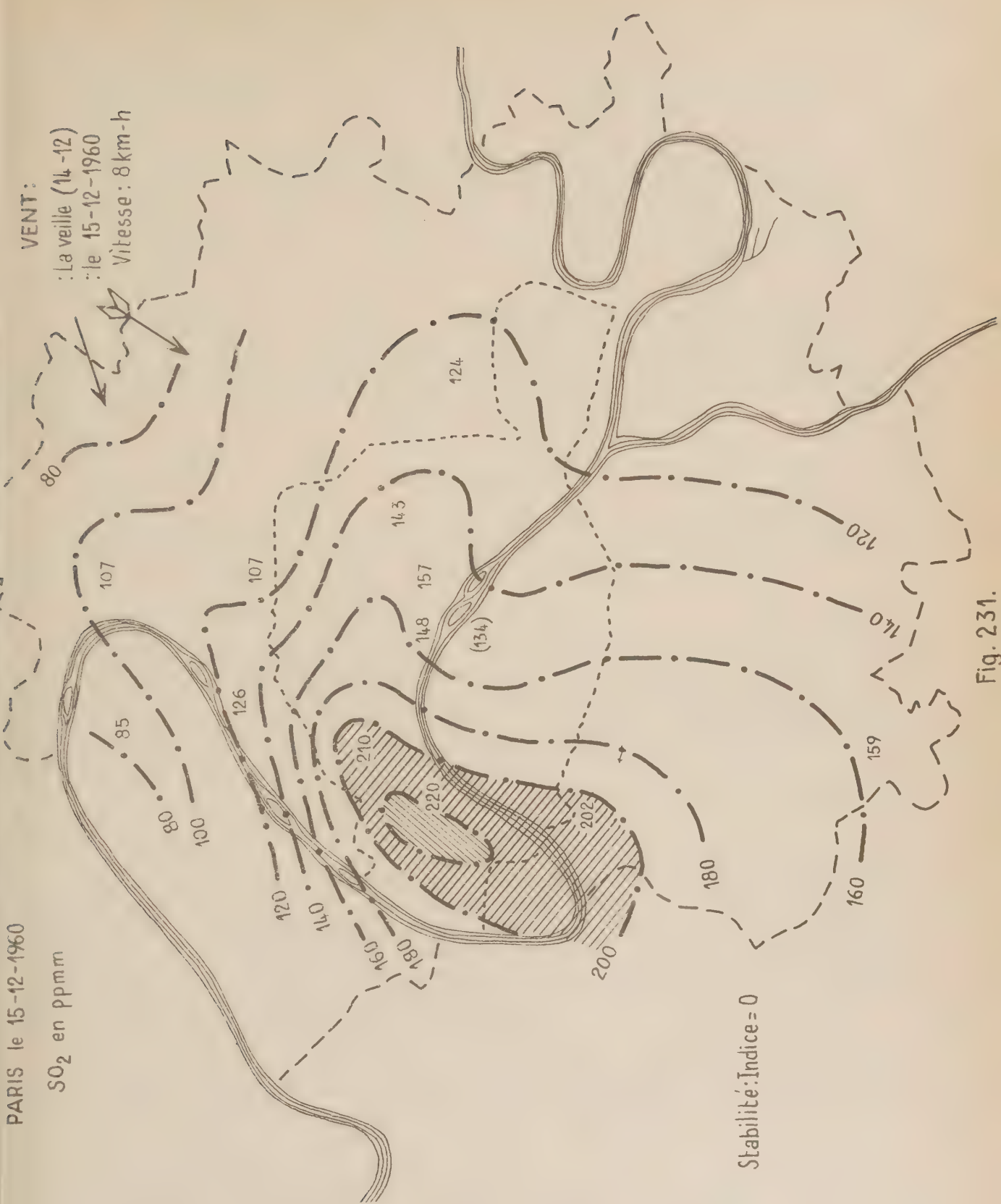
2-3- Les données météorologiques. Pour les données antérieures à 1960 nous avons puisé dans les statistiques climatologiques de la Météorologie Nationale, dont certaines encore inédites.

Les mesures journalières pour 1960 proviennent, pour la plupart du Radio-Sondage effectué à 12 heures à la station de TRAPPES (Seine-et-Oise).

L'emplacement de cette station, sur le plateau bien dégagé qui s'étend à l'Ouest de PARIS nous a paru très favorable à notre enquête, parce qu'elle fournit des mesures aussi indépendantes que possible des conditions

PARIS le 15-12-1960
SO₂ en ppm

VENT:
: La veille (14-12)
: le 15-12-1960
Vitesse: 8 km-h



Stabilité: Indice = 0

Fig. 231.

locales qui sont, dans beaucoup d'études de ce type, une source importante de phénomènes parasites.

Nous avons donc relevé, pour le calcul de l'indice " I_G ":

- le vent (en mètre-seconde) au sol et à l'altitude de 500 mètres, et sa direction;

- la température (en degrés et dixièmes de degrés centigrades) au sol et à l'altitude de 500 mètres.

Nous avons calculé ensuite les gradients verticaux entre les deux niveaux, dont la différence d'altitude est de 333 mètres. Cependant, pour les relevés des hauteurs d'eau tombée nous avons choisi la station météorologique de l'Aérodrome du BOURGET, plus représentative de la distribution instantanée et de la quantité des précipitations à Paris.

2-3- Etude de quelques cas particuliers.

Comme exemple à l'appui des résultats théoriques de la première partie nous examinerons d'abord la pollution de quelques journées, choisies en fonction de la simplicité de la situation météorologique.

2-3-1. Journée du 15-12-1960 (figure 2-3-1.)

Situation météorologique: elle est caractérisée par une crête de haute pression reliant les anticyclones russo-sibérien et atlantique (centré aux Açores). Cette configuration qui dure depuis quelques jours, a permis aux masses d'air continental et froid de recouvrir toute l'Europe. Ciel brumeux, pas de pluie. Structure thermique verticale homogène dans les basses couches avec gradient thermique vertical nul en température potentielle.

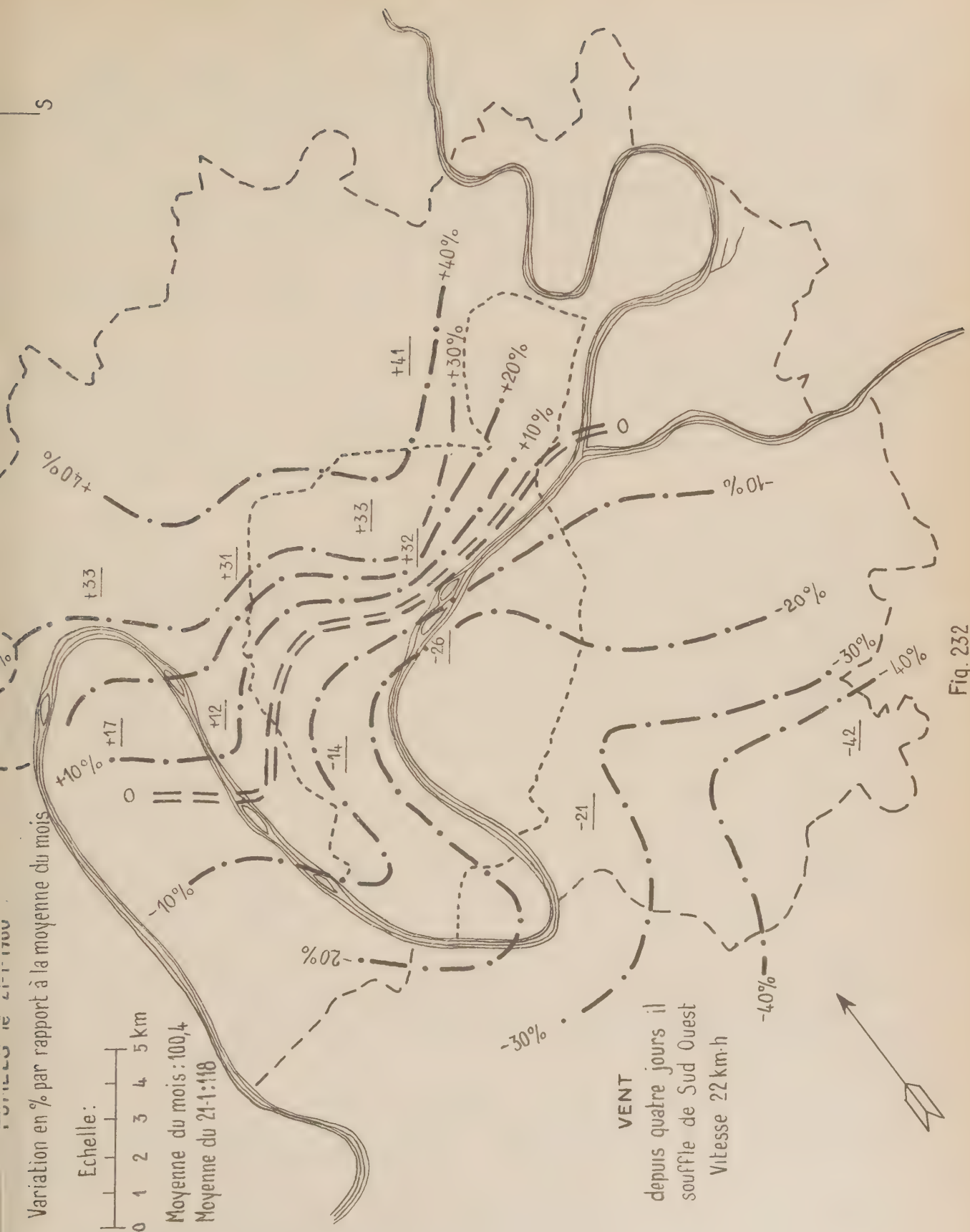
Le vent est faible, de secteur ENE la veille (le 14 Décembre), de NNE la journée du 15, vitesse moyenne 2 mètre-seconde.

Pollution: La figure 2-3-1. montre la répartition de la pollution le 15; on y remarque une très forte teneur en SO_2 dans les quartiers Ouest et Sud-Ouest et les agglomérations de ce secteur² (à Issy-les-Moulineaux on enregistre 202 ppmm contre 81 pour la moyenne du mois, soit une augmentation de 150%; même taux excessif à Antony avec 159 ppmm contre 55, soit 190% d'augmentation). La seule station ayant une pollution inférieure à sa moyenne est St-Denis avec 107 ppmm contre 110 en moyenne.

Conclusion: les vents faibles ont une action dispersive réduite dans le cas d'une agglomération circulaire; il y a simplement un déplacement faible du centre du maximum du côté opposé à la direction du vent.

2-3-2. Journée du 21 Janvier 1960.

Situation météorologique: un régime perturbé de Sud-Ouest intéresse depuis plusieurs jours tout l'atlantique Est et l'Europe. Le 21 Janvier on observe le passage d'un talweg axé N - SE, qui traverse la région parisienne au cours de la matinée.



A Paris le ciel reste très nuageux ou couvert, les vents qui soufflaient de Sud Ouest depuis quelques jours tournent d'abord à SE à l'avant du talweg, puis reviennent à Sud-Ouest dès 9 heures; la vitesse moyenne est de 22 km-heure (6 mètre-seconde).

Les masses d'air des basses couches sont stables, le gradient vertical de température potentielle est de 2 degrés pour les 300 premiers mètres (stabilité modérée à forte depuis 5 jours).

Ciel couvert. Pluies: 2 millimètres entre 18 h la veille et 6 h le 21; traces dans la journée du 21.

Pollution. La figure 232 donne, pour la pollution en fumées, l'écart relatif en pour cent entre les quantités observées ce jour là et la valeur moyenne du mois. On remarque que la ligne "zéro" traverse le département du SE au NW en passant par le centre. Coté au vent il y a diminution de la pollution, (40% à Antony) tandis que la moitié NE de l'agglomération accuse des valeurs supérieures à la moyenne.

Conclusion: malgré la persistance d'un vent fort, pendant une période assez longue pour qu'il soit possible d'admettre que la phase de mise en régime est dépassée, donc que l'état permanent est atteint, nous constatons que la pollution n'a baissé que sur une "profondeur" de 8 à 10 km. Dans notre statistique des fréquences de vent (voir 1-5-3.4.) nous avons déjà souligné la rareté des vents supérieurs à 6 mètre-seconde (12% des cas); cependant en examinant quelques uns de ces cas, par exemple la journée du 30 Décembre où le vent dépasse 11 mètre-seconde nous confirmons ce que la théorie laissait entrevoir: la zone de plus forte concentration des polluants ne se déplace guère quand la vitesse du vent augmente, et la pollution moyenne de la ville reste élevée, souvent supérieure à la moyenne mensuelle.

Au point de vue pratique cette constatation fondamentale entraîne deux conséquences;

1°) La première est que l'action dispersive du vent est beaucoup plus faible qu'on l'imagine habituellement, et c'est au contraire la turbulence atmosphérique qui "empêche le plus activement l'accumulation des impuretés dans l'air de nos villes et de nos cités" (Dr. A.R. MEETHAM Réf.20).

2°) La seconde est que la conception traditionnelle de la structure circulaire des grandes villes est à rejeter, au profit d'une forme étalée suivant l'axe perpendiculaire au vent dominant, la dimension maximale dans l'axe transverse ne devant pas dépasser 8 km, qui représente la valeur critique prévue en 1-5-3.4.

Nous estimons, par l'étude comparée d'autres journées où il est possible d'isoler les actions des facteurs météorologiques qu'une distance de 5 km constitue déjà une limite raisonnable de l'extension transverse d'une ville moderne.

Il faut considérer que, lorsque le vent est le seul agent atmosphérique de dispersion (cas fréquent pendant les mois d'hiver) la pollution augmente, au-delà de cette limite par effet de panache (voir 1-5-3.4.).

2-3-3. Journées des 8 au 11 Février 1960.

Situation météorologique. Elle est très complexe, et a fait l'objet d'une étude spéciale (encore inédite - voir CATY - Météorologie Nationale). Elle se caractérise schématiquement par le lent passage d'une surface frontale inactive, comportant une couche d'inversion de la température en altitude. Cette couche s'abaisse peu à peu sur PARIS, et atteint le sol dans la banlieue NE au cours de la matinée du 10.

Pollution. Elle atteint le 10 les valeurs maximales pour toute l'année 1960, soit 668 μg pour les fumées et 337 ppm de SO_2 (valeurs moyennes pour le Département). Pour l'ensemble des stations les valeurs maximales ne sont cependant pas synchrones, et suivent les heures exactes du passage de la couche d'inversion, qui, se dirigeant vers le Sud-Ouest, ne fait apparaître le maximum qu'au cours de la journée du 11 pour les stations de ce secteur.

L'augmentation de la pollution varie entre 400 et 600 pour cent de la valeur moyenne du mois, suivant les stations.

Conclusion. Elle sera double:

a) L'élément météorologique en cause (limite frontale) ne figure pas dans l'indice que nous avons établi: ce dernier serait donc en défaut s'il devait être jugé ou utilisé dans ces conditions. Tout météorologiste saurait, le cas échéant, l'adapter aux circonstances particulières.

b) La présence d'une telle couche d'inversion (voir les schémas dans les dernières pages) n'a aucun caractère exceptionnel: on retrouve des exemples analogues dans tous les cas de très forte pollution. En général, d'ailleurs, ces couches d'inversion sont plutôt liées directement au champ de pression (subsidence); leur probabilité est encore plus forte, et - caractère très important - elles risquent alors de se maintenir plusieurs jours, voire plusieurs semaines: aucune garantie ne peut dans ces conditions être donnée sur les taux de pollution à attendre: PARIS n'est, à ce point de vue, ni mieux ni plus mal située qu'aucune autre ville de FRANCE. Dans le cas le plus défavorable la couche d'inversion peut être due à la fois à la configuration météorologique dominante et à un effet orographique: telle est la situation de LOS-ANGELES (E.U.).

2-3-4. Répartition verticale des polluants: Micro-inversion.

La situation particulière de la Tour St-Jacques à la fois au centre et au fond de la cuvette parisienne nous permet de vérifier l'existence prévisible d'une petite couche d'inversion de la pollution sulfureuse par situation favorable (alors que les poussières sédimentent) et inversement, un taux de fumée plus élevé au sommet qu'à la base par effet de panache principalement. Voici un tableau du nombre des cas observés en 1960:

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
SO_2	1	4	3	2	4	9	9	9	14	10	13	8	86
F	2	2	0	0	0	1	1	0	1	2	1	0	10

Tab. 2-3-4. Relevé mensuel des cas d'inversion des polluants à la Tour St-Jacques à Paris - Année 1960.

2-4- Etude statistique (Département de la Seine).

Nous avons réuni sur un même tableau les valeurs journalières suivantes (année 1960).

- Données sur la pollution - (soit 8.700 mesures):

Colonne 0 - $\bar{S}$ = moyenne journalière du SO_2 (en ppm);

" 1 - $\bar{F}$ = " " des fumées (en $\mu g - m^3$).

- Données météorologiques - (2.562 relevés quotidiens):

Colonne 2 - V = vitesse du vent au sol;

" 3 - ΔV = variation verticale du vent, pour H = 333 mètres;

" 4 - ΔT = " " de température potentielle (H = 333);

" 4 - I_G = indice météorologique global défini en 1-7.

- Données sur la mortalité journalière - (1.464 relevés):

Colonne 6 - D = nombre de décès totaux (Département: Seine);

" 7 - d = " " dus aux affections:

- { - cardio-vasculaires;
- { - respiratoires (y compris la grippe).

A partir de ces données brutes nous avons calculé successivement:

- En 0 = logarithme népérien, et variation journalière de S.

- En 1 = " " " " de F.

- Pour toutes les colonnes et pour 13 mois de 28 jours:

- la variation journalière;
- la valeur moyenne mensuelle $\bar{x}$;
- l'écart type: σ_x .

Le choix du mois de 28 jours est imposé par le caractère cyclique, à période hebdomadaire, de la production des polluants: chaque mois ainsi défini se compose du même nombre de dimanche, lundi etc...

Enfin les coefficients de corrélation pour tous les groupes de colonnes prises deux à deux sont établis chaque mois.

Les résultats sont trop nombreux pour figurer intégralement dans cette étude. Nous n'en donnerons qu'une partie, celle qui répond aux buts définis par notre titre.

Nous avons dû, eu égard à l'importance du travail, et malgré le secours d'un calculateur électronique, nous limiter dans nos recherches. Nous pensons qu'il est possible d'obtenir de meilleures corrélations, en particulier par la détermination plus précise des coefficients relatifs qui interviennent dans le calcul de l'indice I_G ; la seule méthode pratique consistant en approximations successives il eût été étonnant d'y parvenir en quelques essais.

2-4-1. Corrélation entre SO_2 et Fumées.

Dans le tableau récapitulatif la colonne $r_{(1)}$ indique la corrélation entre les variations journalières de SO_2 et de fumées. On remarquera la valeur la plus faible (0,554) pour le 10ème mois. (Voir tableau ci-après).

Cette dissociation des courbes de pollution apparaît très nettement à l'examen direct des graphiques (Fig.152b) et paraît résulter de l'alternance fréquente des journées de stabilité et d'instabilité thermique, les premières facilitant la retombée des polluants solides, les secondes la diffusion verticale des gaz. Le phénomène est encore sensible pour les 9ème et 11ème mois qui présentent des caractéristiques analogues.

Nous en dégagerons deux conclusions:

a) La mesure d'un seul polluant est insuffisante pour apprécier la pollution totale. Même dans le cas des gaz les différences de masse spécifique (volumique) interviennent pour différencier les coefficients de diffusivité.

b) Les corrélations entre la pollution et une variable quelconque seront fonction du polluant choisi.

2-4-2. Corrélation entre pollution et indice météo.

Remarque: Nous n'avons pu, faute de temps, établir les corrélations pour toutes les formes possibles de relation, ni rechercher les valeurs des coefficients de l'indice de diffusion I_G qui rendent ces corrélations maximales. Nos résultats nous estimeront donc la dépendance réelle de la pollution vis-à-vis des facteurs météorologiques.

Résultats - Les colonnes $r_{(2)}$ et $r_{(3)}$ donnent respectivement les coefficients de corrélation entre $\log \bar{S}$ et $\log \bar{F}$ et l'indice I_G . Ces coefficients sont 9 fois sur 13 pour $r_{(2)}$ et dix fois sur 13 pour $r_{(3)}$ supérieurs à 0,50 en valeur absolue (la corrélation est en effet inverse: plus l'indice de diffusion est fort, moins la pollution, est élevée). Ce résultat nous paraît très satisfaisant.

Nous ne relevons qu'une seule valeur franchement mauvaise au 5ème mois pour $r_{(2)}$, c'est-à-dire pour la pollution sulfureuse. Nous l'attribuons à l'arrêt presque simultané des émissions domestiques (chauffage central) au cours du mois de Mai, dont nous savons qu'elles contribuent l'hiver, pour plus de 70% à la quantité totale de SO_2 déversée dans l'atmosphère. Or les calculs que nous effectuons supposent une valeur moyenne constante, au cours du même mois, des émissions journalières des polluants.

L'étude détaillée des corrélations montre que les coefficients ont des valeurs plus élevées (en général) entre la pollution ($\bar{S}$ ou $\bar{F}$) et l'indice météorologique global I_G qu'entre la pollution et chacun des facteurs qui définissent cet indice (vent, paramètres de stabilité, pluie).

Tableau récapitulatif 2-4-

Périodes	N° du "mois"	$\bar{S}$ ppmm	$\bar{F}$ µ g	$\bar{D}$ décès	$\bar{I}_G$	$r(1)$	$r(2)$	$r(3)$	$r(4)$	$r(5)$
2-1-1960 29-1- au	1	100	169	176	29,5	0,708	-0,50	-0,75	0,08	0,00
30-1- 26-2 au	2	112	192	191	30,5	0,980	-0,78	-0,78	0,54	0,48
27-2- 25-3 au	3	60	114	158	30,9	0,743	-0,58	-0,56	0,11	-0,16
26-3- 22-4 au	4	45	101	138	30,1	0,913	-0,70	-0,73	-0,05	-0,08
23-4- 20-5 au	5	34	94	137	23,6	0,850	-0,04	-0,31	0,01	0,00
21-5- 17-6 au	6	18	64	127	27,5	0,766	-0,28	-0,27	0,10	0,25
18-6- 15-7 au	7	16	66	119	31,7	0,888	-0,77	-0,66	0,24	0,33
16-7- 12-8 au	8	14	64	114	23,7	0,710	-0,26	-0,58	-0,08	0,05
13-8- 9-9 au	9	11	56	107	32,0	0,646	-0,41	-0,26	-0,05	0,25
10-9- 7-10 au	10	23	116	129	28,1	0,554	-0,53	-0,53	0,08	0,06
8-10- 4-11 au	11	53	115	149	39,0	0,65	-0,64	-0,65	0,22	-0,36
5-11- 2-12 au	12	60	101	144	37,6	0,911	-0,63	-0,68	-0,09	-0,13
3-12- 31-12 au	13	92	172	160	27,8	0,889	-0,77	-0,81	0,01	-0,04

Signification des colonnes.

1°) Les colonnes $\bar{S}$ $\bar{F}$ $\bar{D}$ $\bar{I}_G$ donnent les valeurs moyennes mensuelles des deux principaux polluants SO_2 et Fumées, du nombre total des décès, et de l'indice météorologique global de diffusion.

2°) Les colonnes suivantes indiquent les valeurs de quelques coefficients de corrélation:

$r(1)$ = entre les variations journalières de SO_2 et $\bar{F}$.

$r(2)$ = entre $\text{Log } \bar{S}$ et $\bar{I}_G$.

$r(3)$ = entre $\text{Log } \bar{F}$ et $\bar{I}_G$.

$r(4)$ = entre les variations journalières de SO_2 et des Décès totaux.

$r(5)$ = entre les variations journalières de $\bar{F}$ et des Décès totaux.

Ce résultat essentiel justifie l'ensemble des hypothèses introduites dans les développements théoriques de la première partie, et permet d'entrevoir l'usage pratique de la notion nouvelle suivante:

- il est possible, et d'une manière très simple de donner chaque matin (ou même dès la veille) une indication sur l'efficacité de la diffusion atmosphérique des polluants émis au cours d'une journée. On aboutirait, par ce moyen, à supprimer pendant les périodes de faible diffusion les émissions non indispensables, comme celles qui résultent des révisions périodiques des chaudières, du ramonage, des recharges discontinues des foyers au charbon, etc.; et d'autre part on encouragerait la mise en oeuvre, pendant ces mêmes journées, de tous les moyens - souvent très coûteux - de filtration, dépoussiérage, désulfuration etc. Au besoin certaines activités pourraient être réduite d'autorité.

2-4-3. Corrélations entre pollution et mortalité.

Elles sont données par les colonnes $r_{(4)}$ pour le SO_2 et $r_{(5)}$ pour la fumée.

Nous retrouvons, comme en 1959, une bonne corrélation en Février (0,54 et 0,48).

Nous notons ensuite le 11ème mois avec 0,22 et 0,36, enfin le 7ème présente des valeurs encore élevées avec 0,24 et 0,33 - au premier abord un peu surprenantes. En examinant les graphiques et surtout en calculant les coefficients d'autocorrélation et les écarts types on s'aperçoit que les valeurs du 7ème mois représentent des fausses corrélations, les trois courbes étant quasi stationnaires et les écarts types très réduits.

Pour tous les autres mois les coefficients sont voisins de zéro.

Au total il y a donc, sur 13 mois, deux cas de bonne corrélation, tant avec SO_2 qu'avec F, et onze cas de corrélation nulle ou non significative.

Examinons maintenant la valeur de ces corrélations:

1°) Lorsqu'il n'existe pas de co-variation parasite le coefficient de corrélation sous-estime l'intensité de la relation. C'est bien ce qui se passe en Février: pendant les journées des 10 et 11 on atteint les taux les plus élevés pour toute l'année, tant pour la pollution que pour les décès

	SO_2	Fumées	Décès
9 Février	110	197	161
10 "	<u>337</u>	<u>668</u>	209
11 "	288	615	<u>219</u>
12 "	143	290	191

mais nous remarquons que les maximums ne coïncident pas, ce qui est bien naturel dans le sens observé et traduit seulement la résistance humaine - ou réaction de l'organisme - et l'efficacité des thérapeutiques. En général il y

a un véritable étalement sur plusieurs jours de la hausse de mortalité à la suite d'une forte agression de la pollution atmosphérique. Voici quelques exemples comparables pour les autres mois d'hiver qui (à l'exception de Décembre) montrent ce déphasage des extremums qui réduit le coefficient de corrélation.

Jour du maximum de Pollution du mois considéré	Décès du jour correspondant et des jours suivants
16 Janvier	171 - 198 - 203 - 203 - 189 -
25 Mars	155 - 158 - 146 - 127 -
8 Novembre	155 - 163 - 148 - 143 -
15 Décembre	215 - 153 - 175 - 163 -

2°) On admet généralement que les premières victimes de la pollution sont d'abord les défaillants, déficients, cachexiques etc., de sorte qu'après une première vague de pollution, les suivantes seront peu marquées sur les courbes de mortalité. Nous avons pu vérifier cette opinion, qui se traduit d'ailleurs, d'une façon globale, par la faiblesse des coefficients de corrélation pour les mois 12, 13 et 1 (de la mi-Novembre, après la première poussée des polluants, jusqu'à la grande offensive de Février).

En résumé: la liaison pollution-décès répond par une bonne corrélation quand il y a des raisons pour qu'elle existe, c'est-à-dire lors des plus forts accroissements de pollution: Février et Novembre, et par l'absence de vraies corrélations en dehors de ces périodes. Ce double critère, statistiquement nécessaire, étant satisfait, nous pouvons considérer comme très vraisemblable l'action léthale de la pollution actuelle sur des organismes déjà atteints d'une affection grave, et en déduire son agressivité en général.

2-5- Remarques sur l'année 1960 et diverses questions annexes.

2-5-1. Place de l'année 1960.

Les graphiques 1921-a et -b- situent l'année 1960 parmi les plus privilégiées du siècle sous le rapport du nombre de jours de brouillard, et près de la moyenne pour la durée d'insolation et la quantité de radiation globale reçue du soleil. Au point de vue de la pollution, on observe une diminution des fumées depuis 1956 (il existe peu de données sûres antérieurement) et une diminution moins marquée de la pollution sulfureuse.

Au total, compte tenu de la plus grande fréquence des vents forts pendant cette période la diminution actuelle de la pollution semble bien être en relation avec la tendance climatologique des dernières années: moins de brouillard, moins de vents faibles, bonne insolation (voir figure 2-5-1.).

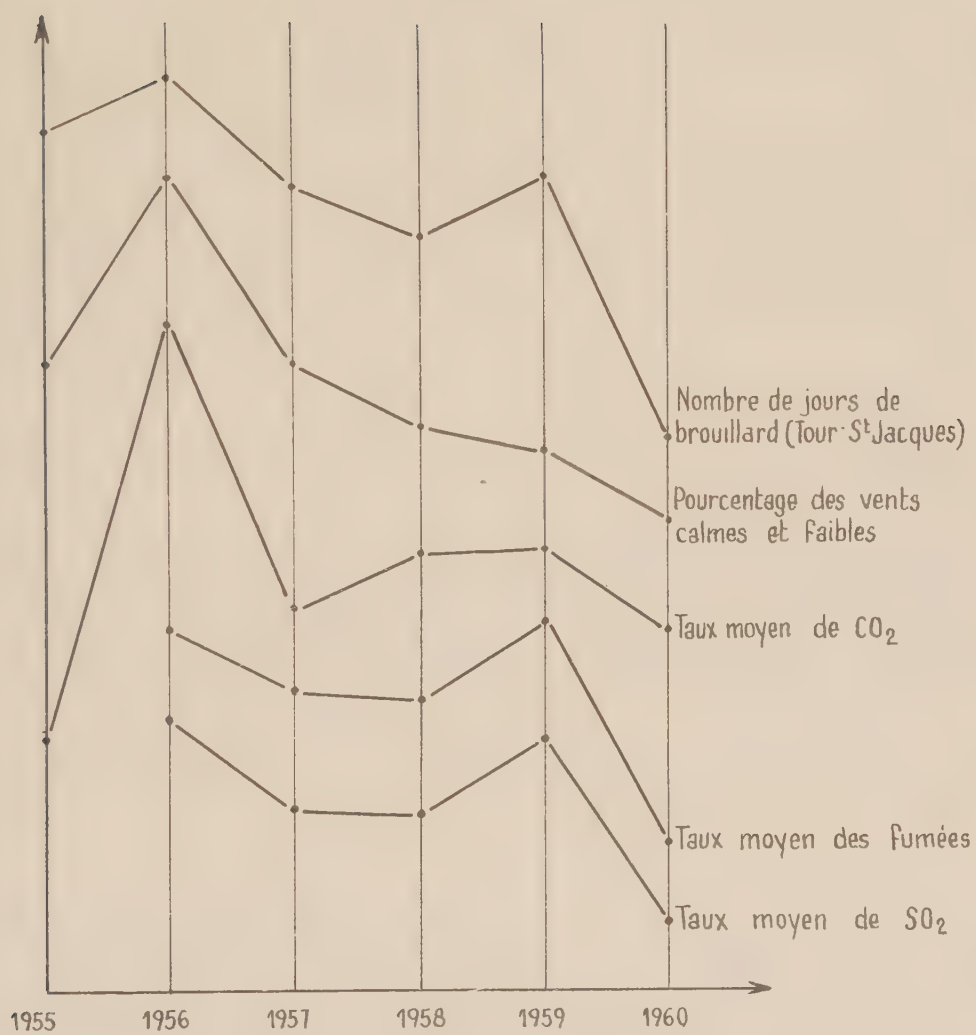


Fig. 251

Valeurs annuelles de la pollution
et des conditions météorologiques.
à Paris

Il serait donc aussi dangereux de méconnaître la dépendance météorologique du degré de pollution que de compter sur le maintien durable des bonnes conditions actuelles de diffusion.

2-5-2. Remarques sur les corrélations établies.

Nous avons souvent émis l'hypothèse que la toxicité de la pollution atmosphérique - pour les doses de polluants actuellement observées - était pour une part importante attribuable à l'action conjuguée du soleil, du brouillard et de l'ozone. La réalité de certaines réactions chimiques a été établie, en particulier la formation de dérivés toniques: ozonides, SO_3 etc., mais il manque encore des chaînons.

Il est par ailleurs difficile de mettre régulièrement en évidence le rôle pathogénique particulier des différents polluants, ou des produits de transformation, à partir des courbes de mortalité, seul document accessible. Nous avons dû jusqu'ici restreindre les corrélations à la seule quantité de pollution, faute d'en connaître les constituants actifs. Cependant en reprenant tous les maximums de la courbe journalière des décès nous avons presque toujours retrouvé en même temps:

- soit un maximum de pollution (parfois antérieur d'un ou deux jours);

- soit un taux moyen, mais un temps très brumeux, ou du brouillard, ou encore une inversion (à partir du sol) des polluants et de la température.

Les rares cas de forte mortalité non rattachables à ces éléments paraissent assez curieusement coïncider avec des minimums de pollution... mais en même temps avec des vents très forts. Il s'agit alors de la contribution d'une cause particulière de décès représentée par le groupe des affections ou accidents cardio-vasculaires et cardio-pulmonaires dont les relations avec les perturbations atmosphériques violentes sont par ailleurs connues.

Cette digression souligne la complexité des problèmes médico-météorologiques.

2-5-3. Note à propos de I_G .

L'indice météorologique global défini en 1-7. introduit des coefficients pour tenir compte en particulier des dimensions relatives de l'agglomération parisienne par rapport au cube théorique du modèle idéal. Les valeurs de ces coefficients qui ont été utilisées ici sont les suivantes:

$a = 1$, avec ΔV en mètre-seconde;

$b = 2,5$, avec ΔT en degré centigrade;

$c = 5$, avec V en mètre-seconde

tandis que la hauteur d'eau E est exprimée par la moitié du nombre de millimètre d'eau tombée en 24 heures.

3 - RECAPITULATION ET APPLICATIONS -

3-1. Remarque préliminaire.

L'étude de la pollution atmosphérique des villes, si on la veut synthétique, c'est-à-dire utile, nécessite une vaste compétence s'étendant aux domaines les plus divers.

Au stade de l'analyse simple des faits nous distinguons quatre secteurs.

3-1-1. La production des polluants. Elle est de la compétence des techniciens ou ingénieurs de l'industrie, des centrales énergétiques, des moyens de transport, du chauffage, des installations diverses.

3-1-2. La diffusion des polluants: c'est l'affaire du météorologiste. La complexité du problème ne doit pas faire oublier qu'il s'agit d'une question primordiale, et qu'en présence d'une situation météorologique durable où la diffusion ne serait plus assurée par le vent et la turbulence, l'accumulation des polluants et surtout leur toxicité se développeraient en dehors de toute possibilité d'intervention humaine.

3-1-3. Les effets de la pollution sur l'homme, intéressent les médecins, les hygiénistes, les toxicologues, les statisticiens (Réf. 14).

3-1-4. La législation dite "préventive", mais surtout répressive, est du domaine des pouvoirs publics. Elle est à considérer avec l'ensemble des textes qui concerne l'urbanisme, et qui sont dus pour la plupart aux efforts tenaces des médecins et des hygiénistes.

Les premières ordonnances remontent à plusieurs siècles. Citons les derniers textes:

1° la loi sur les Etablissements classés (19-12-1917);

2° la loi SIEGFRIED-HONORAT (14-3-1919), puis la loi d'urbanisme (19-7-1924). La première a été remplacée par le code d'urbanisme (15-6-1943) qui définit les différentes zones d'activité urbaine et leur emplacement respectif, prévoit des "espaces verts" etc.;

3° la loi MORIZET (20-4-1932) sur les dégagements de fumées, suies, gaz toxiques. Elle constitue une extension de la loi de 1917 aux établissements commerciaux et administratifs.

Malheureusement ces lois ne concernent qu'un des termes du problème, et souvent, son seul aspect immédiat. Elles sont donc très rapidement tournées puis périmées. Un exemple classique est fourni par l'obligation, pour toute zone industrielle nouvelle, de s'édifier au-delà d'une distance minimale du périmètre bâti, fixée par arrêté préfectoral). Mais rien n'empêche, dans un deuxième temps, de construire des locaux d'habitation dans l'intervalle demeuré libre: ce sont d'ailleurs des populations étrangères à la marche des usines qui s'y installent le plus souvent, et se plaignent ensuite des pollutions industrielles.

Aussi assistons-nous, dans toutes les villes en expansion circulaire, au même phénomène d'inclusion progressive d'anneaux alternativement résidentiel et industriel.

L'histoire de la croissance de PARIS est, à ce titre, un très édifiant chapitre d'incohérence.

3-2. Applications pratiques.

3-2-1. Pollution et hygiène.

3-2-1.1. Au chapitre des intoxications il paraît souhaitable d'étendre les investigations dans des secteurs nouveaux. Actuellement par exemple le Centre de Recherches de l'Institut National des Sports s'intéresse aux pollutions des locaux d'éducation physique des lycées et collèges, dont certains - les plus récents en particulier - sont situés aux lieux de plus forte pollution.

La décroissance exponentielle des polluants en altitude (au-dessus d'un certain niveau) indique tout naturellement la solution logique à ce problème, commun à tous les lieux où se produisent des métabolismes actifs: crèches, pouponnières, maternités, salles de gymnastique etc...

3-2-1.2. A propos de la sur-mortalité immédiate ou différée, il est utile de considérer qu'à un faible accroissement de la mortalité correspond toujours une très forte augmentation de la morbidité. C'est ainsi qu'au cours des journées de forte pollution de Novembre et de Février on estime que plus du tiers des parisiens est atteint de troubles variés: simples coryzas, grippe, troubles intestinaux, sinusite, poussée rhumatismale, asthme etc...

3-2-1.3. La distinction que nous avons souvent faite entre les fumées et l'anhydride sulfureux, sous l'angle de leur comportement physique ou chimique différent se retrouve déjà au stade de leur émission. Les cartes 3-2-1.3.-a- et -b- montrent les deux maximums de pollution bien dissociés dans l'espace: celui des fumées aux quartiers Est de Paris, riche en usines et ateliers, celui du SO_2 en plein centre résidentiel, sur les 16ème et 17ème arrondissements. Cet exemple - vérifié chaque mois - prouve que le "zonage" considéré aujourd'hui encore comme la meilleure réponse des urbanistes est loin de constituer une solution rationnelle, et surtout durable.

3-2-2. Pollution et météorologie.

Nous ne méconnaissons ni les imperfections ni les insuffisances de notre étude. Nous avons dû faire un choix parmi les hypothèses de travail souvent fort éloignées, écarter des solutions théoriques plus séduisantes mais inapplicables à notre avis.

Nous pensons qu'il est possible d'améliorer les résultats, mais que le moyen le plus efficace est l'utilisation de l'indice de diffusion.

L'indice prévu chaque soir pour le lendemain permettrait de réduire la pollution des trois ou quatre périodes critiques de l'année, seule façon possible d'éviter les très fortes accumulations.



Fig. 3 213-a-



Fig. 3213-b-

Enfin l'étude météoro-climatologique préalable à tout projet d'urbanisme s'impose comme une nécessité élémentaire, qu'il s'agisse de l'orientation, de la hauteur et de l'espacement des immeubles, compte tenu des autres impératifs, ou de problèmes plus généraux que nous abordons pour terminer.

3-2-3. Pollution et urbanisme. Cas de la région parisienne.

La préoccupation fondamentale de la médecine est d'abord la recherche étiologique, seule capable d'orienter la thérapeutique. Il est donc naturel que, dans le problème de la pollution, la seule solution à laquelle puisse souscrire un médecin est celle d'une révision complète des normes traditionnelles de l'urbanisme.

Bien que d'origine étrangère le principe du "zonage" n'est pas satisfaisant pour les grands ensembles. Chaque zone produit et subit sa propre pollution; de plus la division en secteurs spécialisés entraîne une augmentation des migrations journalières intérieures. Enfin l'accroissement des villes, traditionnellement concentrique, remet sans cesse en cause les coûteux aménagement antérieurs, et conduit inévitablement à l'asphyxie progressive du centre. La constitution "d'espaces verts", isolés ou réunis en ceinture ne représente alors qu'un palliatif, utile et même indispensable, mais très gênant pour les projets ultérieurs d'agrandissement.

Nous sommes ainsi conduits à la conception d'un type nouveau d'organisation de la cité qui concilie les exigences de l'hygiène, de la médecine (y compris la neuropsychiatrie) de la météoro-climatologie et de l'indispensable secteur économique. Nous avons déjà montré que les premières étaient satisfaites par:

1°) un développement unidirectionnel, perpendiculairement à la direction dominante des vents faibles;

2°) une limitation de la largeur des ensembles bâtis à cinq kilomètres.

La nouvelle structure proposée est alors du type linéaire et comporte, par exemple, une double file:

- Côté au vent: la suite des groupes résidentiels, avec centres de culture, de soins, de spectacles; desservie par route et voie ferrée lente (type ligne de métro).

- Côté sous le vent: la suite des usines, ateliers, centrales énergétiques, gares, aéroports; desservie par eau, chemin de fer, autoroute.

Les deux alignements communiquent par des routes à sens unique à travers une zone verte qui les sépare et comprend: forêts, jardins, terrains de jeux etc. Les détails et les modifications locales dépendent des conditions géologiques, hydrologiques, topographiques.

Dans le cas de la région parisienne il est bien évident que, la Seine constituant l'axe moyen du développement linéaire, compatible avec l'ensemble des exigences énumérées, la solution proposée permettrait d'établir par étapes successives plus de 20 millions d'habitants entre PARIS et LE HAVRE, avec tous leurs moyens de production. Elle s'oppose donc radicalement aux tentatives ruineuses d'entasser quelques millions supplémentaires d'immigrants dans le périmètre - encore un peu plus agrandi - de la seule agglomération parisienne, tout en éloignant, dans le même temps, les indispensables usines sous le prétexte d'une pollution qui n'est plus guère leur fait, et dont la gravité tient d'abord à l'extension circulaire de la ville et de ses banlieues.

C O N C L U S I O N S

La pollution atmosphérique s'accroît avec l'extension continue des villes, malgré les réglementations de toute nature.

Les conséquences médicales de cette pollution sont bien connues. Nous n'apportons en ce domaine que des résultats statistiques qui montrent:

Une corrélation significative entre les fortes pollutions et la mortalité générale, la pollution semblant surtout hâter la mort de certains malades très atteints. Cet accroissement du taux de mortalité concerne notamment les parisiens ayant dépassé leur 45ème année.

A partir des équations classiques de la diffusion dans les gaz, nous avons essayé de grouper dans un indice global l'action des facteurs météorologiques sur la dispersion des polluants atmosphériques.

Les corrélations entre cet indice global et le degré de pollution à Paris pendant l'année 1960 justifient les hypothèses émises pour l'établissement des relations entre ces deux facteurs.

Comme application pratique nous proposons:

1°) D'élaborer un règlement sur la pollution atmosphérique tenant compte de la valeur quotidienne de cet indice afin que au moins l'hiver, et pendant les jours de faible dispersion, puissent être interdits les rejets intempestifs résultant par exemple des nettoyages ou dépoussiérages périodiques.

2°) D'attirer l'attention des urbanistes sur les avantages considérables de l'extension axiale des villes sur l'accroissement concentrique, qui est traditionnel autant qu'irrationnel.

Juillet-Décembre 1961

Vu, le Président de thèse
Professeur J. BOYER

Vu, le Doyen de la Faculté
Professeur L. BINET

Vu et permis d'imprimer
Le Recteur de l'Académie de PARIS
J. ROCHE

Ouvrages à consulter

A. VIAUT	Le développement des applications de la climatologie en FRANCE au cours des 20 dernières années - 1947 Météo. Nat.
A. VIAUT	Les aspects du temps en Europe Occidentale Blondel-La-Rougery.
J. BOYER (et coll)	Acquisitions récentes dans l'épidémiologie et la prophylaxie des maladies infectieuses - Ed. Masson - Paris 1952.
J. SAÏSSAC	Application des théories de la diffusion turbulente au problème de la pollution atmosphérique. La Météorologie 38-151-1955.
J. SAÏSSAC	Procédés d'évaluation de la diffusivité thermique - Note de l'EERM - n°28 - Météo. Nat. Paris 1960.
M. SEDILLE	Précis de Mécanique des Fluides - DUNOD ed. 1942.
L. CLARENBURG	A Study on air pollution - Utrecht 1960 - 551-551-8-(02).
M.B. JACOBS	The chemical analysis of air pollutants - 1960 - Interscience-Publishers - INC. N.-York - London.
Comptes Rendus du congrès national de l'A.P.P.A. : - n°1 bis - Novembre 1960; - vol.3 n°1 bis - Janvier, Mars 1961.	

Références citées

1	OMI Lausanne 1951 - Publication n°79.
2	D ^r COIN - Ing. PELLETIER - Lab. d'Hygiène Ville de Paris - Origine et Bilan des émissions de CO ₂ - SO ₂ - Fumées dans le Département de la Seine - Année 1959.
3	L. PRANDLT - Guide à travers la mécanique des fluides - DUNOD - Paris 1952 (Trad. A. MONOD).
4	J. ROULLEAU et R. TROCHON - Météorologie Générale Tome I et II - Paris 1958 - Ed. GAUTHIER-VILLARS.
5	Ph. WENRLE - Leçons sur la Météorologie Ec. Nat. Sup. Aéro.
6	L.F. RICHARDSON - Proc. Roy. Soc. A. t. 97. 1920 p. 354.
7	G. CHAMPOLLION - Turbulence en atmosphère claire - NIT section X p. n°3 - Ed. Météo. Nationale.
8	J. SAÏSSAC - J. Scient. Mét. t-5 1953.
9	J. SAÏSSAC - Note n°17 de l'EERM - Mét. Nat. Anisotropie de la diffusion à grande échelle.
10	O. SUTTON - The theoretical distribution of air borne pollution from factory chimneys - Quart. J. Roy. Mét. Soc. 73 - 1947.
11	R. MITTNER - Facteurs et situations météorologiques à considérer dans les phénomènes de pollution atmosphérique - La Météorologie - 39 - 235 - 1955.
12	R. TRUHAUT - Melle DE-CLERCQ. Bulletin de l'Association pour la prévention de la pollution atmosphérique (1960-2-62,67).
13	R. JALU - Exemples de situations météorologiques à pollution anormale - La Météorologie 39 - 247 - 1955.
14	J. BOYER - Précis d'Hygiène - Ed. J.B. BAILLIERE Paris - 1961.
15	L. BESSON - Annales des Services Techniques d'Hygiène de la Ville de Paris - Tome XV.
16	SILVERMANN - Effect of artificial ionization of the air on the E.E.G. - Amer. J. Phys. Med - 1957.
17	M.R. REINHARD - Histoire de la population mondiale de 1700 à 1948 - Ed. DOMAT-MONTCHRESTIEN Paris 1949.
18	Surveillance de la pollution atmosphérique dans le département de la Seine en 1960 - Préf. de la Seine - Lab. d'Hygiène - (Relevés journaliers des indices de pollution).
19	INSEE - Annuaire - Recensements - Mouvements annuels de Population.
20	A.R. MEETHAN - La Météorologie - 1949 (Janv. - Mars).

Travaux de l'auteur

Livres -

- "Cours de Météorologie Aéronautique". Ecole de l'Air Salon de Provence 1949.
- "Cours de Météorologie pour la Licence de Navigation Aérienne". Ec. Nat. Aviat. Civile - Paris 1950.
- En collaboration: "Leçons pour la formation des prévisionnistes - 1952. Météo. Nationale - (5 tomes).

Articles parus -

- Navigation - Revue de l'Institut français de Navigation - N°5 - 1954 - "Problèmes météorologiques des vols à haute altitude".
- Publications de la Météo. Nat.
 - NIT section X p. n°3.
 - NIT section III p. n°8.
- Revue de Pathologie Générale et de Physiologie clinique n°731 - 1961. "Rôle des facteurs météorologiques dans la diffusion aérienne de la pollution".

A paraître -

- Le Concours médical - Communication au Premier Congrès International de Médecine Agricole. Tours Juillet 1961. "Pollution en milieu rural. Cas des Centrales Nucléaires".
- La Gazette médicale. En collaboration avec Prof. J. BOYER. "Les inconvénients de la pollution atmosphérique des villes".

